

森林伐採および伐跡地の植被変化が 流出に及ぼす影響

中 野 秀 章⁽¹⁾

Hidenori NAKANO : Effect on Streamflow of Forest Cutting and Change in
Regrowth on Cut-over Area

要 旨 : 6つの小試験流域で森林伐採の前後16~28年間に得られた水文資料が、主として推計学的方法で解析され、皆伐・択伐・再生樹草の変化および階段工の築設にともなう流出の変化が、既往の成果との比較を含めて、検討された。皆伐により年・季節各流出量および低水流量は増加し、それらの増加量は同じ地文条件下では気象条件に左右される。また融雪期後半の月流出量は必ず減少し、地域によっては春・夏期の月流出量も減少するが、その他の月の流出量は増加する。さらに増水量・増水ピーク流量は出水時の流域の湿润抵抗と降雨の組合せ条件のいかんによって増加するか、あるいは減少するが、しかし大きな出水におけるこれらは必ず増加する。なお豊水・平水・低水・渴水各流出量が年流出量中に占める割合関係で示される年流出の一様性は向上するが、流域によっては悪化することもある。つぎに択伐も皆伐と同様に年・季節各流出量に影響するが、その影響程度は皆伐より弱く、そして年流出量の増加量は伐採率にほぼ比例する。流出の変化量は伐採の進行とともに増加し、また再生樹草の発達とともに減少して、流出状態は伐採前のそれにしだいに復帰していく。伐跡地への階段工の築設は伐採後の年・季節各流出量および低水流量の増加をいっそう顕著にするが、春・夏期の月流出量は減少させない。主として伐採にともなう林地浸透能の低下および主として蒸散に基づく出水時の初期損失、および連断の減少が増水量・増水ピーク流量の増加をもたらす、蒸散の減少が低水流量の増加をもたらす。ただし根雪期間に起こる低水流量は主として林冠の除去にともなう融雪の促進のため増加する。増水量と低水流量の増加が季節・年各流出量の増加の原因となる。しかし春・夏期には初期損失が多くて、増水量が減少する場合は多いため月流出量が減少することとなる。

目 次

要 旨	1
目 次	1
I 緒 言	3
II 試験流域による既往の森林理水試験	4
II-1. 試験流域による森林理水試験の方法	4
II-2. 各国における森林処理によるおもなる流域試験	5
II-3. 既往のおもなる試験成果	14
II-3-1. 年流出量	14
II-3-2. 季節流出量	17
II-3-3. 月流出量	18
II-3-4. 低水流量	19
II-3-5. 高水流量	20
II-3-6. 年間流出の一様性	24
II-3-7. 植生地被と土壤水分	25
III 研究の方法	29
III-1. 方針と手順	29

1971年4月28日受理

(1) 防災部

III-2. 解析における仮定の吟味	32
IV 資 料	34
IV-1. 試験流域の概要	34
IV-2. 森林植生の経年変化	36
IV-3. 流 出 量	42
IV-4. 流出因子の説明	44
IV-5. 気 象	51
V 解析の結果	52
V-1. 各流出量の期待値の推定式	52
V-2. 処理期間における流出量の変化	65
V-2-1. 年流出量	67
V-2-2. 豊水・平水・低水・渇水各流出量	67
V-2-3. 季節流出量	74
V-2-4. 月流出量	92
V-2-5. 増 水 量	100
V-2-6. 増水ピーク流量	101
V-2-7. 豊水・平水・低水・渇水各率	103
VI 結果の考察	112
VI-1. 流出量の変化と森林植被の変化との対照	112
VI-1-1. 年流出量	112
VI-1-2. 豊水・平水・低水・渇水各流出量	116
VI-1-3. 季節流出量	123
VI-1-4. 月流出量	130
VI-1-5. 増水量および増水ピーク流量	133
VI-1-6. 豊水・平水・低水・渇水各率	135
VI-2. 流出量の変北と気象条件	136
VI-2-1. 年流出量	136
VI-2-2. 豊水・平水・低水・渇水各流出量	141
VI-2-3. 季節流出量	146
VI-2-4. 月流出量	150
VI-2-5. 増水量および増水ピーク流量	150
VI-3. 森林伐採ならびに伐跡地の植被変化と流出	166
VI-3-1. 年流出量	166
VI-3-2. 季節流出量	171
VI-3-3. 月流出量	176
VI-3-4. 流出量変化の季節分布	178
VI-3-5. 低水流量	181
VI-3-6. 高水流量	183
VI-3-7. 流出量変化の理由	187
VI-3-8. 年間流出の一様性	191
VII 総括および結論	192
VII-1. 研究の目的	192
VII-2. 研究の方法と資料	192
VII-3. 研究の結果	195
VII-4. 本研究の効果	208
文 献	210
Summary	217
付 表	236

I 緒 言

洪水の防止と水資源の確保のため、河川の流量を調節する方法の1つとして、水源流域における森林の取扱いの合理化が重要であることは今さら多言を要しない。

森林の合理的取扱い方法を確立するためには、まず森林の存在状態およびその変化と流域からの水流出の関係を明らかにする必要がある。

水源地域における水循環に対して、森林植被は降水の遮断・土壌浸透能の改善や維持・蒸散など、種々の水文現象を通じて関係することは明らかであるが、しかし森林が流域の水収支や河川の流況に及ぼす影響を適確に定性的、さらに定量的に明確にすることは必ずしも簡単ではない。

古くより2つの方法で研究が進められてきた。1つは遮断・浸透・蒸散などの個々の森林水文現象を理論・模型または現地プロットによる実験あるいは現地測定で別々に検討し、ついでこれらに関する個別成果を総合して、森林流域の水収支つまりは流出に及ぼす森林の影響を明らかにしようとする方法である。他の1つは現実に試験流域を設定し、森林状態の違いによる流出の違い、あるいは森林状態を変化させて流出への影響を直接的に知り、かつその解析結果から変化する理由もある程度検討しようとする方法である。

従来わが国では、後者の方法を中心にして研究が進められてきた。また米国など諸外国でもやはりこのような傾向が強い。そして、いずれの国でも多数の成果が発表されてきた。ここに述べるものもこの種研究の1つである。

しかしながら、本研究は既往のこの種研究のあり方を考慮し、とくにつぎの諸点を方針として行なわれた。

①所在地域を異にする多数の試験流域について、共通の流出因子を採りあげ、共通の推計学的方法で解析し、個々の流域の流出に及ぼす森林処理の影響を明らかにするとともに、その影響の森林を含む地文条件と気候条件の違いによる差異、いわば森林処理の影響の地域的差異も検討する。

②森林処理後の期間における流出の平均的变化だけでなく、各年の個々の変化を求め、これにより伐採、伐跡地への樹草の再生、再生樹草の刈払いや火入れ、山火による焼失、さらに伐跡地への階段工の築設などの影響を伐採前の流出状態との比較で検討し、また再生樹草が年々人為的に抑制されて、その生育による変化が少なかった期間について流出変化と気象条件との関係を検討する。

③解析の対象として一連続降雨による増水量などの高水流量、低水流量、月・季節・年各期間の総流出量を採りあげ、それぞれの森林処理による変化を求めるとともに、増水量および低水流量の変化と月流出量の変化との関係や、月流出量の変化と季節・年各流出量の変化との関係など各流出量の変化の間の相互関係も検討する。

また、年流出量を4分する豊水・平水・低水・渇水各流出量を定義し、これらの相互割合のいかんによる年間流出の一様性の表現を考え、これに及ぼす森林処理の影響を検討する。

④既往成果との比較検討をできるだけ詳細に行なう。

この研究に用いられた資料の過半は、農林省林業試験場の上川・釜淵・宝川・竜の口山各森林理水試験地において開設以来得られたもので、これら試験の計画と実行にあたられたきわめて多数の関係職員の方

々の多年のご労苦のたまものである。ここに記してそのご努力に対し深甚なる敬意と謝意を表する。さらに林業試験場防災部治山科理水研究室の菊谷昭雄、森沢万佐男両技官ほか多数の方々にご多大のご援助をいただいた。またとりまとめにあたり九州大学農学部 of 武田京一博士、木梨謙吉博士、末 勝海博士に種々有益なご助言をいただいた。深く感謝の意を表する。

II 試験流域による既往の森林理水試験

II-1. 試験流域による森林理水試験の方法

試験流域を設定して森林と流出との関係を試験するには、従来 3 つの方法が用いられている。

通常用いられるのは、以下述べる基準流域法あるいは対照流域法と呼ばれる方法⁷⁸⁾⁸¹⁾である。地形・地質・土壌・気象・面積などの流域条件ができるだけ類似し、しかも近接している 2 以上の流域を設定し、すべての流域に同じ方法で水文観測を行なう。一定の期間(基準期間あるいは処理前期間)の後、1 つの流域をそのままとし、他の流域の森林に一時的あるいは継続的な試験処理を加える。このとき前者の流域を基準流域、後者を処理流域といわれる。基準流域では試験流域に比較すれば、非常に緩慢な森林植生の自然の変化、およびこれにともなう微弱な地表土壌の変化以外に、人為的に急激な変化をすべての流域条件に加えられることがない。そして、基準・処理両流域とも地形・地質条件は変化しないものと考えられる。このようにして森林処理後もある期間(処理期間あるいは処理後期間)にわたり、全流域について基準期間と同様な水文観測が継続される。

Table 1. 世界各国におけるおもな
Description of principal experimental watersheds

国 (州) Country in (State in U. S. A.)	流 域 名 Watershed	面 積 Area ha	平均高度 or Mean elevation Midarea elevation m	レリーフ レシオおよび (平均傾斜) Relief ratio and (mean gradient) %	方 位 Aspect	地 質 (基 岩) Geology	土 壌 Soil	平均年 降水量 Mean annual precipitation mm
日 本 Japan	太 田 Ôta	15.7	350	12 (22°)	SSW	角閃岩 角閃片麻岩 絹雲母片岩 Amphibolite Hornblende gneiss Sericite schist		1608 (1911 ~1913)
	上川一南谷 Kamikawa- Minamitani	572.9	600	7 (17°)	W	流紋岩 安山岩質碎屑物 水成沈積層 Rhyolite Andesite debris Hydrogeneous deposit	砂質壤土 深さ70~85 cm Sandy loam, 70 to 85 cm deep	1438 (1943 ~1953) 雪 35% Snow 35%

しかし、ときには基準流域を欠き、単独の流域で、基準・処理期間を分けて試験されることもある。この方法を単独流域法と呼ぶこととする。

なお森林植生以外の、流域条件がまったく同様と見られる理想的な流域を2以上近接して選び、試験開始当初から森林植生のいかんによる流出の差異を試験する方法（併列流域法）⁸¹⁾も古く一部で行なわれているが、このような理想的な流域を得ることは一般的にはきわめて困難であろう。

試験の精度は基準流域法が最も高いと考えられるが、近年しだいに降雨から流出ハイドログラフを推定する方法の研究が進み¹¹⁾⁴⁷⁾、森林理水試験に対しても実用性のある方法が開発される可能性がうかがわれる。このような方法でよいものができれば単独流域法でもかなり良い試験ができるようになるだろう。

従来、森林の試験処理については2つの方向で採りあげられてきた。すなわち、伐採・焼却などによる森林植生の除去、いわば森林除去試験と植栽・天然更新などによる森林の造成、いわば森林造成試験とである。なお併列流域法では、林相の良否・針葉樹林と広葉樹林の比較などが一部で行なわれてきた。

II-2. 各国における森林処理によるおもなる流域試験

北アメリカ・アフリカ・ヨーロッパ・アジアの各国で、試験流域を設定し、森林の試験処理による森林理水試験が多数行なわれてきたし、またこんごもお行なわれようとしている。とくに米国では、わが国と同様古くから多数の試験が行なわれており、世界における森林水文研究の展開に大きく寄与している。各国の試験のうち既往研究成果が多数発表されている試験を、それらの試験流域によってみると Table 1 のようである。

る森林理水試験（調査）流域の概要
on the forest-water yield relation in various countries

平均年 流出量 Mean annual runoff mm	平均年 流出率 Mean annual runoff coefficient %	試験開始時の森林 Forest vegetation at the beginning of experiment	試験方法 Method of experiment	森 林 処 理 Treatment of forest vegetation
924	57	広葉樹（雑木、70%）、 針葉樹（スギ・ヒノキ・モミなど 30%、流域上部）の天然混交林 Natural mixed forest of hard- wood (coppice, 70%) and soft- wood (Sugi・Hinoki・Momi etc., 30%)	単独流域法 Single wa- tershed method (no con- trol w.)	皆伐・搬出、(1915～1916)、再生樹草 放置 Clearcutting and logging (1915～ 1916), regrowth allowed
763	53	広葉樹（ナラ・ダケカンバなど、 60%）、針葉樹（エゾマツ・トド マツ、40%）の天然混交林 Natural mixed forest of hard- wood (Nara・Dakekanba etc., 60%) and softwood (Ezomatsu ・Todomatsu etc., 40%).	基準流域法 Control watershed method	団地状択伐、蓄積で45%(1945～1948) 再生樹草放置 Selection cutting in groups(1945～ 1948), 45% by volume of the stand, regrowth allowed

Table 1. (つづき) (Continued)

国 (州) Country (State in U. S. A.)	流域名 Watershed	面積 Area ha	平均高度 Midarea elevation or Mean elevation m	レリーフ レシオおよび 平均傾斜 Relief ratio and (mean gradient) %	方位 Aspect	地 質 (基 岩) Geology	土 壤 Soil	平均年 降水量 Mean annual precipitation mm
日 本 Japan	上川一北谷 Kamikawa- Kitatani	645.4	600	6 (17°)	W	流紋岩 安山岩質碎屑物 水成沈積層 Rhyolite Andesite debris Hydrogeneous deposit	砂質壤土 深さ70~85 cm Sandy loam 70 to 85 cm deep	1438 (1943~ 1953) 雪 35% Snow 35%
	釜淵一2号沢 Kamabuchi- No. 2	2.5	204	40 (36°)	SE	凝灰岩 頁岩質凝灰岩 Tuff Shaletic tuff	埴質壤土 深さ15~95 cm Clay loam, 15 to 95 cm deep	2641 (1940~ 1947) 雪35~ 40% Snow 35 to 40%
	宝川一初沢 Takaragawa -Shozawa	117.9	1067	20 (25°)	SW	凝灰岩 蛇紋岩 花崗岩 第四紀層 Tuff Serpentine Granite Quaternary stratum	礫質壤土 深さ80~125 cm Stony loam 80 to 125 cm deep	2153 (1938~ 1948) 雪 40% Snow 40%
	竜の口山一 南谷 Tatsunoku- chiyama -Minamitani	22.6	160	25 (26°)	NW	硬砂岩 粘板岩 石英斑岩 Graywacke Clay-slate Quarz porphyry	埴質壤土 深さ100~250 cm Clay loam, 100 to 250 cm deep	1153 (1937~ 1943)
	竜の口山一 北谷 Tatsunoku- chiyama -Kitatani	17.3	150	30 (31°)	W	"	"	1113 (1937~ 1944)
U. S. A. (North Carolina)	Coweeta -No. 13	16.1	810	26	NE	花 崗 岩 (ち 密)	砂質粘土 ローム、深 6 m	1829 雪 2%
	Coweeta -No. 17	13.5	885	44	NW	"	"	1995 (雪 2%)

平均年 流出量 Mean annual runoff mm	平均年 流出率 Mean annual runoff coefficient %	試験開始時の森林 Forest vegetation at the beginning of experiment	試験方法 Method of experiment	森 林 処 理 Treatment of forest vegetation
808	56	広葉樹（ナラ・ダケカンバなど、60%）、針葉樹（エゾマツ・トドマツ、40%）の天然混交林 Natural mixed forest of hardwood (Nara · Dakekanba etc., 60%) and softwood (Ezomatsu · Todomatsu etc., 40%).	単 独 S. w. m.	台風風害後、皆伐・搬出(1953~1957)、再生樹草放置 Clearcutting after damage from typhoon and logging, (1953~1957), regrowth allowed
2075	79	広葉樹（ナラ・ブナなど、60%）天然林にスギ・ヒノキ人工林（40%）団地状存在 Natural hardwood (Nara · Buna etc., 60%) forest dotted with artificial stand consisting of Sugi and Hinoki	基 準 C. w. m.	皆伐・搬出（1947~1948）、再生樹草放置、その後その刈払・焼却、階段工築設 Clearcutting and logging (1947~1948), regrowth allowed, clearing and burning of it later, terracing
1783	83	広葉樹（ブナ・ナラなど、80%）、針葉樹（ヒバ・ヒメコマツなど、20%）の天然混交林 Natural mixed forest of hardwood (Buna · Nara etc., 80%) and softwood (Hiba · Himekomatsu etc., 20%)	"	団地状択伐、蓄積で50%(1948~1953)再生樹草放置 Selection cutting in groups (1948~1953), 50% by volume of the stand, regrowth allowed
293	25	アカマツ天然林（80%）、一部ヒノキ人工林（20%） Natural forest of Akamatsu (80%) with Hinoki artificial stand 20%	単 独 S. w. m.	皆伐・搬出（1944~1945）、再生樹草放置、その後その刈払、山火、クロマツ植栽 Clearcutting and logging (1944~1945), regrowth allowed, clearing of it later, forest fire, planting of Kuromatsu after fire
290	26	アカマツ天然林（94%）、一部ヒノキ人工林（6%） Natural forest of Akamatsu (94%) with Hinoki artificial stand 6%	"	皆伐・搬出（1945~1947）、再生樹草放置、溪岸林分伐採・搬出 Clearcutting and logging (1945~1947), regrowth allowed, riparian regrowth cutting and logging
792	43	広葉樹（Oak・Chestnut・Hickory など）、針葉樹（Hemlock など）の混交	基 準	皆伐（下木含）（1939~1940）、搬出せず、再生樹草放置、再生林皆伐（1963~1964）、搬出せず
762	38	"	"	皆伐（下木含）（1941）、搬出せず、再生樹草放置（1943~1946）、再生樹伐倒（1947以降毎年）、ただし搬出せず、White pine 植栽（1956）樹高3~6 m（1965）

Table 1. (つづき) (Continued)

国 (州) Country (State in U. S. A.)	流域名 Watershed	面積 Area ha	平均高度 Midarea elevation or Mean elevation m	レリーフ レシオおよび (平均傾斜) Relief ratio and (mean gradient) %	方位 Aspect	地 質 (基 岩) Geology	土 壌 Soil	平均年 降水量 Mean annual precipitation mm
U. S. A. (North Carolina)	Coweeta- -No. 22	34.4	1035	35	N	花 崗 岩 (ち 密)	砂質粘土 ローム, 深 6 m	2068 (雪 2%)
	Coweeta -No. 19	28.2	960	32	NW	"	"	2001 (雪 2%)
	Coweeta -No. 1	16.1	840	34	S	"	"	1725 (雪 2%)
	Coweeta -No. 3	9.2	825	32	S E	"	"	1814 (雪 2%)
	Coweeta -No. 10	85.8	975	24	S E	"	"	1854 (雪 2%)
	Coweeta -No. 41	28.7	1065	46	S E	"	"	2029 (雪 2%)
	Coweeta -No. 40	20.3	1035	42	S E	"	"	1946 (雪 2%)
	Coweeta -No. 6	8.8	790	35	NW	"	"	1821 (雪 2%)
	Coweeta -No. 37	43.7	1280	47	NEE	"	"	2244 (雪 2%)
	Coweeta -No. 28	144.2	1200	31	N E	"	"	2270 (雪 2%)
(West Virginia)	Fernow -No. 1	29.9	755	23	NEE	砂岩・頁岩 (ち 密)	礫を含むシル トローム, 1~1.5m 深	1524 (少 雪)
	Fernow -No. 2	15.4	780	15	S	"	"	1500 (少 雪)
	Fernow -No. 5	36.4	780	14	N E	"	"	1473 (少 雪)

平均年 流出量 Mean annual runoff mm	平均年 流出率 Mean annual runoff coefficient %	試験開始時の森林 Forest vegetation at the beginning of experiment	試験方法 Method of experiment	森 林 処 理 Treatment of forest vegetation
1275	62	広葉樹 (Oak・Chestnut・Hickory など), 針葉樹 (Hemlock など) の混交	基 準	胸高断面積合計で50%, 10m幅带状地 1列おき葉枯殺, 再生樹草放置
1222	61	" , 下木 (Rhododendron, Laurel など)	"	全下木伐倒, 搬出せず, 胸高断面積合 計で22% (1948~1949), 下木萌芽放 置
739	43	"	"	胸高断面積合計ならびに面積で25%溪 岸林分枯殺(1954), 再生樹草放置, 皆 伐・搬出(1956~1957), 再生樹草伐倒 (1957以降毎年)
607	33	"	"	皆伐・搬出, 上部で枝条散布, 下部で 掘取と低木・掘取木焼却 (1940), 一 部で開こん・耕作 (1941以降), 放牧 (1942以降)
1072	58	"	"	胸高断面積合計で30%, 14年間に逐次 伐採・搬出 (1942~1956)
1285	63	"	"	胸高断面積合計で35%伐採・搬出
1052	54	"	"	胸高断面積合計で22%伐採・搬出
831	46	"	"	溪岸林分伐採, 胸高断面積合計で12% (1942), 再生樹草放置, 皆伐・搬出, Fescue 草に転換
1583	71	"	"	皆伐搬出 (1963), 再生樹草放置
1532	67	"	"	部分伐採 (面積で50%) と間伐 (面積 で26%) (胸高断面積合計で60%に相 当), (1962~1964)
584	38	広葉樹 (Oak・Sugar maple・ Yellow poplar など)	"	皆伐・搬出, 搬出路新設, 胸高断面積 合計で82% (1957~1958), 再生樹草 放置
660	44	"	"	択伐および劣等木枯殺, 胸高断面積合 計で36% (1957~1958), 搬出, 搬出 路新設 (一部排水溝付設), 再生樹草 放置
762	52	"	"	択伐および劣等木枯殺, 胸高断面積合 計で22% (1957~1958), 搬出, 搬出 路の最大勾配20% (必要箇所全部に排水 溝付設), くぼ地でのずり出しをせず, 再生樹草放置

Table 1. (つづき) (Continued)

国 (州) Country (State in U. S. A.)	流域名 Watershed	面積 Area ha	平均高度 or Midarea elevation Mean elevation m	レリーフ レンショ および (平 均傾斜) Relief ratio and (mean gradient) %	方位 Aspect	地 質 (基 岩) Geology	土 壤 Soil	平均年 降水量 Mean annual precipitation mm
U. S. A. (West Virginia)	Fernow -No. 3	34.4	805	13	S	砂岩・頁岩 (ち 密)	礫を含むシル トローム, 1~1.5m 深	1500 (少 雪)
	Fernow -No. 7	24.2	800	13	NE	"	"	1469 (少雪)
(Oregon)	H. J. Andrews -No. 1	95.9	700	28	NW	凝灰岩・ 角 礫 岩	粘土質ローム 浅~深	2388
	H. J. Andrews -No. 3	101.2	760	32	NW	"	"	2388
(Califor- nia)	San Dimas -Monroe Canyon	354.1	840	17	S	花 崗 岩	岩屑の多い砂 質ローム, 浅	648
	San dimas -Bell 2	40.5	885	32	S	"	"	700
	Santa Ani -ta -Fish Canyon	1683.5	760		S			780
(Arizona)	Sierra Ancha -North Fork	100.4	2225	17	SW	珪 岩	粘土質ローム 5m深	813 (少 雪)
	Sierra Ancha -South Fork	128.7	2165	8	NW	"	"	813 (少 雪)
	Three Bar -C	39.0	1300	急70%を こすこと あり	N	前カンブリア 紀, 花崗岩		575 (少 雪)
(Colorado)	Fraser- Fool Creek	289.0	3200	18	N	花 崗 岩	砂質ローム, 2.5m以上	762 (75%雪)
	Wagon Wheel Gap-B	81.1	3110	37	NEE	輝石石英岩	岩屑の多い粘 土質ローム	536 (50%雪)
	Meeker- White River	197400						
(Ohio)	Coshocton -No. 172	17.6	350	14	SW	洪 積 層	シルトローム	970 (少 雪)
(Ten- nessee)	Pine Tree Branch	35.7	160	5	E		砂質シルトロ ーム	1280

平均年 流出量 Mean annual runoff mm	平均年 流出率 Mean annual runoff coefficient %	試験開始時の森林 Forest vegetation at the beginning of experiment	試験方法 Method of experiment	森 林 処 理 Treatment of forest vegetation
635	42	広葉樹 (Oak・Sugar maple・Yellow poplar など)	基 準	択伐および劣等木枯殺, 胸高断面積合計で14% (1957~1958), 搬出, 搬出路の最大勾配10% (必要箇所全部に排水溝付設), くぼ地でのずり出しをせず, 擾乱地表の緑化
788	54	"	"	上流域半分で伐採・搬出 (1964)
1372	57	針葉樹 (Douglas fir など)	"	部分伐採, 面積で40% (1962~1963) 部分伐採, 面積で40%追加 (1963~1964)
1346	56	"	"	部分伐採, 面積で8% (1959), 部分伐採と火入れ, 面積で25%追加 (1963)
64	10	Chaparral	"	溪岸林分伐採, 面積で1.7% (1958), 再生樹抑制, 溪岸林分伐採, 面積で2.6%追加 (1959)
		"	"	Herbicides 散布, 面積で40% (1958), 山火全焼 (1960)
191	24	広葉樹 (Sumac・Mountain mahogany など)	"	山火, 全植生焼失 (1924), 再生樹草放置
86	11	針葉樹 (Ponderosa pine・White fir など)	"	溪岸林分伐採, 面積で1% (1953), 萌芽抑制, 湿地帯林分追加伐採, 面積で32% (1958)
87	11	"	"	択伐・間伐・山火 (19%), 胸高断面積合計で45% (4年間)
		Chaparral	"	山火全焼地へ侵入した Chaparral の葉枯殺 (4年間)
283	37	針葉樹 (Lodgepole pine・Spruce fir など)	"	択伐, 帯・ブロック小団地状, 面積で40% (1954~1956)
157	29	広葉樹 (Aspen), 針葉樹 (Douglas fir・Engelman spruce など)	"	皆伐・搬出・slash 焼却 (1919), 再生樹草放置
265		針葉樹 (Spruce など)	"	虫害枯死, 面積で24% (1946), 跡地放置
300	31	農 地	"	マツ植栽, 面積で70%
255	20	森林 (Oak 類など) 23%, 耕地 12%, 牧草地 13%, 荒地その他 52%	単 独	林地以外に Southern pine を植栽, 面積で75% (1946), 後放置

Table 1. (つづき) (Continued)

国 (州) Country (State in U. S. A.)	流域名 Watershed	面積 Area ha	平均高度 or Mean elevation Midarea elevation or Mean elevation in	レリーフ レシオお よび (平 均傾斜) Relief ratio and (mean gradient) %	方位 Aspect	地 質 (基 岩) Geology	土 壤 Soil	平均年 降水量 Mean annual precipitation mm
(Ten- nessee)	White Hollow	694.0	410	6	S E	石 灰 岩	Cherry シルトローム	1184
(New York)	Central New York -Sage Brook	181.0	525	15	S E	頁岩・砂岩 Glacial till	シルトローム 3 m深まで	974 (少 雪)
	Central New York -Cold Spring Brook	391.0	565	35	S	"	"	1030 (少 雪)
	Central New York -Shackham Brook	808.0	520	5	S	"	"	1030 (少 雪)
	Adiron Dacks -Sacandaga River	127200	575	1		Glacial till	砂質ローム	1143 (少 雪)
(Wash- ington)	Naselle River	14245	275				Silty-clay ローム, 礫の 多いローム, 2 m深	3300
Kenya	Kericho -Sambret	688.0	2200	5	NW	Phenolite lava	粉になりやす い粘土, 深	1905
	Kimakia -A	35.2	2440		S	"		2014
South Africa	Jonkershoek -Bosboukloof	208.0	520	30	SW			1270
	Jonkershoek -Biesievlei	32.0	365	30	SW			1270

Note : Sugi (*Cryptomeria japonica*), Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), Ezomatsu (*Picea jezoensis*), Todo-
(*Pinus pentaphylla*), Hiba (*Thujaopsis dolabrata*), Momi (*Abies firma*), Buna (*Fagus crenata*), Nara

Table 1 によって諸外国の試験をみると、それぞれの国によって多少方法が異なるが、森林処理の内容からみると、やはり森林除去試験がほとんどで、その中では皆伐の試験を行なったものが最も多く、各種の択伐・渓岸林分の伐採・下木だけの伐採などについても試験されており、また特殊な場合として薬剤による枯殺・山火による焼失も試験されている。逆に森林造成試験は、いっそう長期間を要するためと除去試験でその逆として影響を類推できることのため、比較的試験例数が少ないが、米国・南アフリカ共和国で2〜3行なわれている。

平均年 流出量 Mean annual runoff mm	平均年 流出率 Mean annual runoff coefficient %	試験開始時の森林 Forest vegetation at the beginning of experiment	試験方法 Method of experiment	森 林 処 理 Treatment of forest vegetation
460	39	森林（短葉松・広葉樹）66%, 耕地 4%, 荒地 26%, 草地 4%	単 独	侵食防止工事（多少の植栽を含む） (1934~1935), 林地以外に植栽 (Black locust・短葉松) (1938~1942), 後山 火・放牧・伐採に対し補充植栽
535	55	針・広混交林, 無林地	"	部分植栽, 面積で 47%, 針葉樹, 13% は未植栽で残 (1932)
616	60	"	"	部分植栽, 面積で 35%, 針葉樹 (1934)
627	61	"	"	部分植栽, 面積で 58%, 針葉樹, 16% は未植栽で残 (1939)
770	67	針・広混交林	"	森林成長, 胸高断面積合計 17m ² /ha (1912)→28m ² /ha (1950), 一部森林水 害 (1950)
2690	82	Douglas fir・Western hemlock など	"	伐採, 年平均 2% (面積で) (1930~ 1956)
416	22	竹 林	基 準	部分伐採, 面積で 34% (1958), 下草刈 払い, 茶植栽
568	28	"	"	皆伐, Patula pine 植栽, 林間農作
475	37	Sclerophyll scrub (Chaparral 型)	"	Radiata pine 植栽, 面積で 53% (1940)
490	39	"	"	Radiata pine 植栽, 面積で 98% (1948)

matsu (*Abies Mayriana*), Akamatsu (*Pinus densiflora*), Kuromatsu (*Pinus Thunbergii*), Himekomatsu
(*Quercus serrata*), Dakekanba (*Betula Ermanii*)

これらの試験は単独流域法で行なわれているものもあるが、ほとんどは基準流域法によっている。

なお、スイスのエンメンタール試験は有名であり、その歴史的意義はきわめて大きい。しかし、東京大学愛知演習林・岩手大学御明神演習林における試験と同様森林処理については、いまのところ試験を行っていない。

II-3. 既往のおもなる試験成果

II-3-1. 年 流 出 量

(a) 日本における成果

日本における最初の森林除去試験はいわゆる太田の試験（1906年設定）である。これは世界最初のものでもある。玉手¹²⁶⁾・平田⁸⁷⁾は次のことを報告している。すなわち、皆伐後年流出量・年流出率は増加した。増加は伐採搬出が完了した年およびその翌年に大きく、その後再生樹草の回復とともに減少し、伐採前の流出に復する傾向が推量できた。伐採前の3か年は年降水量の違いにもかかわらず年流出率はほぼ一定で、平均年降水量は1,608mmに対して57.5%であった。再生樹草の回復の著しくなった1919年を除いて伐採完了の1916年から1918年までの3か年では平均年降水量が1,483mmで伐採前より少ないにもかかわらず流出率は64.2%で大きくなっている。いま伐採前の流出率が伐採後も適用できるとすると、伐採後の3か年平均流出量は853mmで、実測平均流出量との差は109mmで、これは流出率にして7.3%に相当する。同様のことを伐採完了年に適用すると差は187mmで、流出率の11.6%に相当する。

釜淵試験について丸山⁶⁴⁾は1950年までの試験結果を報告し、1号沢（基準流域）・2号沢の平均年流出率はそれぞれ76, 79%であったのに対し、2号沢の皆伐後3か年のそれはそれぞれ75, 83%で、2号沢では増加した。また3か年平均で年間110mm弱の年流出量増加（増加率5%）がみられたとしている。その後高橋¹²¹⁾は、1955年までの資料により前同様の検討を行ない、伐採後8か年の平均年流出量増加は139mmで、流出率は6%だけ増加したと報告した。中野⁷²⁾も皆伐後年流出量が増加したことを Double-mass 解析により確かめた。

上川試験では南谷流域の結果を勝見⁴⁹⁾が報告している。すなわち、団地状択伐の前の5か年間と択伐完了後の1949～1953年の年降水量と年流出量の回帰解析をそれぞれ行ない、一方未伐採の北谷流域の同様解析を11か年（1943～1953年）について行なって、3つの回帰直線を比較することによって択伐後南谷の年流出量が増加したと指摘した。この解析から5か年平均で約120mmの増加（増加率17%）が推定されたとした。年流出率は択伐前48.3%, 択伐後57.6%と増加したが、北谷は56%前後ではほぼ一定であった。

竜の口山試験で1947年までの資料により、中野⁷⁰⁾は虫害による林相の悪化とその後の皆伐による植被の変化にともない、年流出率が増加することを認めた。白井¹⁰⁹⁾・110)は1951年までの資料により皆伐完了後の6か年の平均で年流出量は南谷で91mm（増加率約30%）、北谷で147mm（約40%）の増加が認められたと報告した。当然年流出率の増加も認められている。

(b) 外国における成果

Wagon Wheel Gap 試験は森林伐採の影響を基準流域法により確かめた最初のもの（1909年設定）で、その意義は太田の試験とともに大きい。その結果を BATES³⁾ らは次のように報告した。基準期間の平均年降水量は534mm、処理期間のそれは537mmで、ほとんど差がなく、基準流域であるA流域の平均年流出量は基準期間で154mm、処理期間157mmで、やはり大差がなかった。しかるに処理流域であるB流域では基準期間が157mm、処理期間が184mmで、伐採後27mmだけ増加した。A流域の両期間における差3mmをこれから差し引くと、24mmの増加（増加率約15%）が伐採後7か年の平均としてもたらされた。伐採終了後再生樹草の回復とともに増加量が減少したことを指摘し、最大増加は伐採後3年目の約51mmで、末期には13mm以下になった。Horr⁴²⁾はこの試験の資料を基準流域の日流出量から処理流域の日流出量を推定する方法を用いて再解析し、1919—'20水年を伐採完了後の第1年とし、各水年の年流出量

の増加量 8 mm（増加率 3.6%），以降 39（22.5），54（32.3），30（20.0），30（17.7），8（6.7），0.5（0.04）で，7 か年平均で 24 mm（15.3%）であったと報告している。増加量の漸減傾向については，BATES らの報告と同じであった。REINHART ら⁹⁴⁾も同じ資料を用いて別の方法で再解析し，各年の増加を伐採年 16 mm（増加率 8%），その後 34（19），47（27），25（16），22（12），13（12），13（12）で，いずれの増加も推計学的に 5% 水準で有意であったと報告した。以上方法は異なったが，3 者の結果はほぼ同様であった。

HOYT ら⁴²⁾は California 州 Santa Anita での調査で，山火で全植生焼失後 6 か年に年流出量の増加が 63 mm（増加率 23%），以降 79（26），40（12），17（38），18（30），19（32）で，平均 39（29）であったと報告している。

GOODELL⁸⁰⁾は Fraser 試験で，帯状伐採後の各年に 107 mm（増加率 37%），86（17），53，79，97，53 の増加があったと報告している。

REINHART ら⁹³⁾⁹⁴⁾は Fernow 試験で，No. 1，No. 2，No. 5，No. 3 各流域における伐採年・伐採完了後第 1 年・同じく第 2 年の増加はそれぞれ 56 mm（増加率 12%），130（19），86（16）；25（3），64（10）；25（3），18（2）；-3（-），8（1）であったと報告している。ただし No. 2，No. 5，No. 3 各流域については伐採後 2 年目の資料はまだ無く，No. 1 流域の伐採年・第 1 年・第 2 年および No. 2 流域の第 1 年の増加はいずれも 0.05 水準で有意であった。なお No. 1 流域の第 2 年の増加量が小さくなったことは樹草の回復に符合するとされ，年流出率（%）はそれぞれ 4，8，7 だけ大きくなったという。またその後の報告では，No. 1 の増加は第 5 年には有意でなくなったという。

Sierra Ancha 試験⁹⁵⁾⁹⁷⁾で，North Fork 流域ではわずかな溪岸伐採後 1958 年まで確かな増加はみられなかったが，同年伐採面積が溪岸の湿润地区全体に拡大された後 5 か年間は 13，51，15，48，30 mm の増加が認められ，平均増加量は約 30 mm（増加率 46%）であった。South Fork 流域では 1964 年現在 11 か年中 9 か年に増加がみられたが，増加率は平均 4% で有意な増加ではなかった。

Coweeta 試験はきわめて多数の有用な報告¹⁶⁾⁸⁵⁾⁸⁸⁾を提供してきた。30 の単独あるいは複合流域が試験に供され，各種の試験が 1934 年以来今日まで続けられている。No. 13 流域では皆伐倒（伐り倒した林木を搬出していない）後明らかに年流出量が増加したが，再生樹草の回復により増加量は漸減し，2 回目の伐倒でふたたび第 1 回伐倒とほぼ同じ増加が認められている。伐倒後第 1 水年の増加は 373 mm で，その後再生樹草の発達につれて増加量は小さくなり，第 2 回伐倒の前年には 75 mm となった。No. 17 流域では皆伐倒（伐り倒した林木を搬出していない）後の第 1 水年に 444 mm 増加した。その後 1946～'47 水年までは再生樹草の成立に符合して漸減したが，その後は再生樹の繰り返し伐倒と符合してあまり変動せず，270 mm 前後の増加量で一様に経過した。1956 年のマツ植栽に符合する変化は 1961～'62 水年までみられなかったが，その後の 2 か年に増加量が小さくなった。No. 22 流域では帯状枯殺後第 1 年に 198 mm 増加し，その後は再生樹草の生育にともなって第 3 年 130 mm，4 年目 100 mm 前後の増加量となった。No. 19 流域⁴⁴⁾では下層木除去後第 1 年に 71 mm 増加し，その後ゆっくり再生下木が回復するに並行して増加量も漸減し，6 年目に有意でないものになった。6 年間の平均増加量 50 mm（増加率 4%）であった。No. 1 流域では溪岸木枯殺後第 1 年に 46 mm 増加したが，再生樹草の回復につれ 3 年目までに有意でない増加となったが，その後の皆伐で 152 mm の増加が起こった。その後は急速に増加量は小さくなり，しかも年々再生樹を伐倒することにより 50 mm 前後の様な増加量になる傾向がみとめられた。No. 3 流域でも皆伐の翌年 127 mm 増加した。No. 10 流域では 14 年間にわたる伐採中に平均 25 mm 増加した。No. 40 流域では弱

度択伐で変化は認められず、No. 41流域では中度択伐で50mmの増加があったが、数年後には有意でないものに減少した。No. 6流域¹⁸⁾では溪岸林分伐採後変化は認められなかった。しかし、その後の皆伐、そして草地への転換で2年目までは変化しなかったが、その後増加しはじめ、5年目には170mmの増加となった。No. 37流域では皆伐後第1年に286mm増加した。No. 28流域では部分伐採後第1年の増加は約200mmであった。

San Dimas 試験³⁵⁾¹¹³⁾の Monroe Canyon 流域では、溪岸林分伐採後第1年に10mmの増加がみられた。この結果は同様に、Chaparral (米国南西部に特有なもので、多種類の低木から成るやぶ)を除去した他のいくつかの試験と同程度のものであった。

Three Bar 試験⁹¹⁾で、山火跡地への Chaparral の侵入を薬剤によって抑制した結果、侵入が許されたとした場合の期待値よりも平均75mm年流出量が増加した。これに対して基準流域では、Chaparral の侵入が許されたため、しだいに山火前の流出量に復旧していくことが確かめられた。

Meeker 調査⁶⁷⁾では虫害発生後の5か年間平均で、58mm (平均年流出量の22%) の増加が認められた。

Kenya 試験³⁵⁾⁹²⁾の Kericho Sambret 流域では竹林の部分伐採後の第1年に103mmの増加、Kimakia A流域では皆伐後3年間457, 229, 178mmの増加がみられた。

その他西ドイツでも、Harz 山地⁹⁴⁾で森林流域と皆伐流域が比較され、後者にわずかながら年流出量が多かったことが報告されている。

以上の試験は成林を伐採し、その直後の流出変化をみるとともに伐跡地への自然植生の侵入、あるいは植栽による林況変化の影響を引きつづき検討したものであるが、逆に森林以外の利用をしている土地に新たに森林を造成することによる影響をみた試験もある。

Jonkershoek 試験²⁾³⁵⁾¹³⁷⁾¹³⁸⁾¹³⁹⁾¹⁴⁰⁾の Bosboukloof 流域では Radiata pine の植栽後4年目から減少がはじまり、12年目くらいから変化がなくなった。植栽後8年目に始まる4か年(1948~1951)の平均減少は66mm、その後は109mm(1952~1955), 104mm(1956~1959)であった。Biesievlei 流域でも Radiata pine 植栽後4年で減少が始まり、79mm(1952~1955), 142mm(1956~1959)の減少量であった。

Coshocton 試験³⁵⁾⁷⁸⁾のNo. 172流域ではマツ植栽後19年目に135mmの減少が認められた。

Pine Tree Branch 試験¹⁸¹⁾では流域の森林成立により、16年後76~152mmの減少が認められた。

White Hollow 試験¹⁸⁰⁾では全流域の森林化がはかられたが、17年後年流出量に変化は認められなかった。

Central New York 試験³⁵⁾⁵³⁾の Sage Brook, Cold Spring Brook, Shackham Brook の各流域では針葉樹の造林後(それぞれ29, 24, 19年後)にそれぞれ平均106, 172, 130mmの減少が認められた。

ESCHNER²⁴⁾によれば、Adirondacks 調査で森林の39年間の成長により平均196mmの減少が認められた。しかしその後、洪水により一部森林が被災減少したとき45mmの増加が認められた。

New Mexico 州³¹⁾で、過度利用により荒廃された丘陵地を長期間使用せず、放置して植生(主として林木)を回復させた場合の年流出量の変化が調べられたが、年流出量に減少がみられた。しかし、年降水量も減少しており、雨以外の因子によっても減少されたとは推計学的に確認できなかった。

MARTIN ら³⁵⁾は Southwestern Washington 調査で、27年間にわたり年平均2% (面積) の伐採はなら影響しなかったと報告している。

II-3-2. 季節流出量

(a) 日本における成果

丸山ら⁶⁴⁾は釜淵—2号沢の1950年までの資料で、この論文とは異なる解析方法で皆伐の影響を検討し、皆伐後3か年（1948～1950）の平均で夏期（6～11月）流出量は110mm増加したが、冬期（12～5月）流出量は変化したとは認められないと報告した。小野ら⁶⁹⁾は釜淵試験の1966年までの資料により冬期間（積雪開始日から翌春融雪による出水が認められなくなった日までの期間）の流出に及ぼす影響を検討し、皆伐後8か年平均で1.7%の流出量増加を認め、これはおそらく森林による降雪遮断量の減少のためと考えた。そして既往調査結果により常緑針葉樹林では降雪を遮断して積雪量を減少させるが、落葉広葉樹林では無林開放地と同じか、あるいは降雪捕捉によってむしろ増加がみられ、林内空地では吹きだまりによる増量がみられるということから、針広混交林であった2号沢では遮断と雪の捕捉・吹きだまりとの相反する作用のため、遮断による損失量は1.7%というわずかなものになったと推論した。また1955～'56水年以降は10か年平均で5.9%の増加をみたが、これは主として2号沢流域周辺の林分の伐採除去による流域外からの2号沢への吹き込み積雪量の増加によるものとした。

遠藤ら²²⁾は上川—南谷および北谷の資料により夏期（6～10月）流出量が伐採後増加し、数年後増加量が樹草の再生に符合して減少していく傾向を認めた。冬期流出については²⁰⁾、北谷の積雪期間の日流出量の減衰状態を森林除去前（1951～1953）と後（1955～1958）で比較している。すなわち、減水曲線を $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$ （ただし Q_0 ：初期日平均流量 $l/s \cdot km^2$ 、 Q_t ： Q_0 の次の日から数えて t 日目の流量、 α ：常数、 e ：自然対数の底）で表わせるものとして $Q_0 \cdot \alpha$ を風害およびその後行なわれた伐採の前後で比較したところ、著しい差は認められなかった。しかしながら、12月より翌年2月までの総流出量は、平均すると伐採後多少伐採前期間より増加したように認められたが断定できないと報告した。

永見ら⁶⁹⁾も宝川—初沢の1960年までの資料により夏期（ほぼ8月から10月まで）流出量に及ぼす択伐の影響をこの論文と異なる方法で解析し、伐採後流出量が明らかに増加し、その増加量は降水量に比例することを指摘した。ここに報告する研究では夏期を6～10月とし、永見らは8～10月としているから増加量は当然後者に少ない。

(b) 外国における成果

Fernow 試験⁹⁴⁾では生育期間（5～10月）の流出量の森林処理による変化が確かめられ、No. 1流域では営利本位皆伐の結果、第1年以降30.5, 111.8, 76.2, 45.7mm, No. 2流域では直径制限択伐の結果、同じく17.8, 45.7, 17.8mmの推計学的にきわめて有意な増加が認められた。この結果伐採後放置されると、自然の植生回復と符合して増加量が経年的に小さくなっていくこと、しかし伐採後3～4年目になお有意な増加があることなどを示した。第1年の増加量が小さいのは、伐採がその水年の中途で行なわれており、影響期間が小さいことと符合している。伐採量の少ない粗放択伐ならびに集約択伐を行なったNo. 5, No. 3流域でも、有意ではなかったが増加傾向はうかがわれた。また、増加量は伐採量とともに増加する比較的簡単な直線的関係にあることが確かめられた。また休眠期間を11～4月とし、同様にして検討した結果、粗放択伐流域で減少となったが、他の3流域では増加となった。しかしその増加量は、生育期間のそれに比べてきわめて小さく、皆伐流域で第1年以降22, 15, 13mm, 直径制限択伐流域で5, 20, —mmなどで、いずれも推計学的にあまり有意な変化ではなかった。生育・休眠両期間の流出量とも増加量は、再生樹草の発達に符合して減少していく傾向が明らかに示された。

Fraser-Fool Creek⁸⁶⁾⁹⁴⁾⁹⁸⁾では面積で40%が帯状伐採され、年流出量が増加したが、その一部は夏期と秋の初期に起こり、大部分は融雪による春の洪水時に起こった。

Coweeta-6⁸⁵⁾では胸高断面積合計で12%の溪岸林分伐採で変化が認められなかったが、No. 1 流域では同じく25%の溪岸木枯殺により当年で夏期流出分だけ46mm増加し、その後の皆伐により年流出量が増加したが、その大部分は生育期間に起こった。また No. 17 流域で、皆伐倒により年間各月にわたって増加が認められ、夏期流出に増加が認められたが、とくに雨が少なく乾燥した夏には流出量増加は起こらないかも知れないと指摘された。DILS¹⁶⁾は No. 13, No. 17 流域で皆伐倒による年流出量の増加の大部分は、11～2月の期間に起こったと報告した。No. 19 流域⁴⁴⁾では *Rhododendron* (シャクナゲ属)の下層木だけが地表をできるだけ荒らさないように伐採除去されたが、その結果夏期流出量は1年目から6年目までそれぞれ48.8, 39.4, 29.7, 20.3, 10.7, 1.0mmと増加し、平均20.3mmの増加であった。しかし、7年目には8.4mmの減少となった。しかし冬期流出量の増加は、これらよりも多かったこと³³⁾、これら増加量は降水量とは必ずしも密接な関係がなかったと報告された。年とともに減少することは伐採された下層植生の萌芽を許されたことと上層木の生育が継続したことに符合するとされた。No. 22 流域では帯状にすべての樹木が薬剤で枯殺されて、生育期間流出量は増加し、その増加量は冬期流出量のそれよりも大きかったと報告された。

H. J. Andrews 試験⁹⁰⁾では林道建設のため、Douglass fir 林を8%伐採し、冬期流出量は増加しなかったが、夏期流出量は明らかに増加(16%)したと報告された。この流域は夏期が低水流量の期間である。

RICH ら⁹⁶⁾が Arizona 州の Workman 川流域で調査した結果では、胸高断面積合計で0.6%の溪岸広葉樹林分の伐採では生育期間の流出は変化しなかったと報告した。

San Dimas-Monroe Canyon⁹³⁾では溪岸林分伐採により夏期(5～12月)に6mm、冬期(1～4月)に4mm増加し、また Bell 2 では Chaparral が薬枯殺された結果、次の夏期(6～9月)の流出量は増加し、その後山火で Monroe Canyon, Bell 2 の植生が焼失した結果夏期流出量は明らかに増加した。

DELFS ら¹⁴⁾は Halz 山地の試験で、年間流出量とは逆に、冬期流出量は森林流域が皆伐流域よりわずかに多かったと報告した。

HARROLD ら⁸²⁾⁸³⁾⁹⁴⁾は Coshocton-172 で、造林後年流出量が減少(19年目に135mm)したが、その大部分(94mm)は休眠期に起こり、残部(41mm)が生育期に起こったと報告した。

Jonkershoek の2つの流域、Pine Tree Branch, Central New York の3つの流域の各試験では造林により年流出量は減少したが、その季節分配は明らかでない。

II-3-3. 月 流 出 量

森林処理の流出に及ぼす影響を月別に解析した例は少なく、FERNOW 試験⁹²⁾がほとんど唯一の例であろう。この試験によれば、高度に有意な増加は森林を重度に伐採した営利本位皆伐流域と、直径制限伐採流域でほとんど6～11月の各月に起こった。両流域の増加量を比較すると皆伐流域の方が後者より全体に大きく、かつ他の弱度の処理をされた粗放択伐・集約択伐両流域では、わずかに9～11月の間にきわめて少数例の高度に有意な増加を認めたにすぎなかったことから、伐採量しがつて残存林木密度と増加量の間に、かなり明りょうな関係があるとした。また増加量は多雨月に大きく、少雨月に小さいが、増加率は少雨月に大きいことも指摘された。冬期の各月には高度に有意な増加はほとんどなく、かえって減少となった場合さえあった。大部分の月で伐採開始とともに増加し、伐倒と集運材の終了とともに増加量が最大と

なり、その後樹草の伐跡地への再生により増加量が小さくなる傾向が認められた。

丸山ら⁶⁴⁾は釜淵試験の1950年までの資料により融雪が促進され、融雪前期の3月に雪水流出が増し、4月の雪水流出が減少した傾向を示唆した。中野ら⁷¹⁾は同じく1953年までの資料により追加解析し、森林伐採が流域の融雪を促進し、伐採前に比較して3月の雪水流出を増加し、4～5月に減少することを確かめた。

II-3-4. 低水流量

(a) 日本における成果

従来、低水流量を扱った研究は少ない。しかし、これに関連して無降雨のときの減水曲線を調査した例がある。玉手¹²⁵⁾は太田試験により伐採前よりも伐採後に減水が急であると報告した。丸山ら⁶⁵⁾は釜淵試験の資料により、地下水だけによるとみなされる無降雨のときの減水レートに及ぼす伐採の影響を検討し、伐採後減水が急になったようにみられるが、推計学的に有意な差はなく、かつ減水の初期だけを扱っているの、さらに後日で流域の保水量が減じ、蒸発散の影響が大きくなった時期の減水については、異なった結果になるかも知れないとした。

桜井¹⁰⁸⁾は東京大学愛知演習林の2つの流域、すなわち大部分が30年生のアカマツ林で下層に低木が密生する流域と、大部分が生育不良の小さなアカマツその他雑木で裸地を交える流域からの2か年の各月の最小流量 (m^3/min) を比較し、例外なく前者の方が後者より大きく、5倍近くであったと報告している。しかし、これには多少問題がある。本来、前者の流域の方は土層自体が保水能が良いために、良い森林が育っていたとも考えられ、その他の地況条件にも明らかな相違があり、植生以外に低水流量が豊富になる理由が考えられるからである。

白沢¹¹²⁾は太田試験の2つの流域、すなわちスギ壮齡林流域とスギ新植地流域の各月の最小日流量を、5か年について比較して3か月だけ壮齡林流域が小さいが、他の9か月は新植地流域の方が小さいと報告した。これにも試験方法に多少問題があろう。いわゆる Emmetal 試験も、同様にして試験方法に問題があろう。

低水流量を直接扱った唯一の結果は、遠藤ら²⁰⁾の上川試験によるもので、12～2月の3か月間の流出量が伐採後いくぶん大きくなったようにみられたが、この期間の減水曲線に差がないという検討結果をあわせ考え、大差無かったと判断している。

(b) 外国における成果

Reinhart ら⁹⁴⁾は Fernow 試験で、50, 75, 100 gallons/acre/day を基準としてそれぞれの日流出量以下の日数を伐採前後で比較する方法で検討している。前述のように、伐採前における推定回帰式を求め、処理流域の処理期間各年の期待日数を求め、実測流出量による日数との差を比較している。その結果4処理流域とも明らかに日数が減少した。このことは当然、流出量が伐採後明らかに増加したことを示し、伐採がきびしければ影響も強いことも示された。なお流量持続曲線による検討によっても、低水流量が伐採後明らかに増加したことを確かめている。

Coweeta-17 では、晩夏と秋の低水流量はほぼ増加した⁸⁴⁾⁸⁵⁾⁵⁸⁾。

H. J. Andrews 試験では40%の団地状伐採で低水流量を45%増加し、追加伐採して80%に伐採率を増したところ85%まで増加 (0.1mm/day) した。他の流域でも道路敷設のための8%伐採が、夏期の最小流量を12～18%増加したという⁸⁸⁾⁹⁰⁾。

Pine Tree Branch 試験¹⁸¹⁾では、試験期間の範囲では、造林の結果地下水流出量には変化は起きなかったと報告された。

JOHNSON ら⁴⁶⁾は Coweeta の No. 13, No. 17, No. 19 における伐倒あるいは伐採による試験結果と、Coshocton 試験における植栽による試験結果を低水流量に着目して再解析した。すなわち、伐倒ないし伐採、あるいは造林前後期間における無降雨のときの減水レート、低水流出である10～11月の流出量、連続30日無降雨期間の日最低流出量、年間の瞬間最低流量などについて比較検討している。まず、JOHNSTON ら⁴⁶⁾の提案した集成減水曲線を用いて検討したところ、Coshocton 試験ではマツの植栽により植物生育期の低水流量の減水は、初めの6年間には 110 l/s/km^2 が 0.10 l/s/km^2 になるのに30日、次の6年間には26日、第3の6年間には23日かかり、植栽後減水は急になった。そして第1分期と第3分期を比べると、後者の方が7.4mmだけ総低水流出量が少なかった。逆に Coweeta-17 では伐倒前 20.0 l/s/km^2 から 4.7 l/s/km^2 に減水するのに38日、伐倒後は63日かかった。この間の総低水流出量の増加は14mmであった。No. 13でも 20 l/s/km^2 から 6 l/s/km^2 になるのに、伐倒前65日かかったものが伐倒後82日間になり、総低水流出量の増加は10mmであった。No. 19では下木伐採前 14 l/s/km^2 が 9 l/s/km^2 になるのに12日、伐採後は27日で、増加は3mmであったと報告した。そして上述の20、 14 l/s/km^2 以上の流出レートの部分では伐採前後で差違はなかったとしているが、前述の遠藤、丸山らはこの部分を扱っていたことが考えられ、JOHNSON らの結果が正しいとすれば、無変化だったことは当然といえよう。

さらに JOHNSON らは、以下のことも報告している。晩秋（10～11月）は土壌水分リチャージの時期で、低水流量の時期であり、その流出量はほとんど地下水流出分であるが、No. 17では伐倒後平均49mm（92%）の増加がみられた。No. 13でも伐倒後増加したが、再生樹草の生育とともに減少し、15年後にはほとんど伐採前の状態に復した。No. 19でもわずかに増加したが、6～8年目には伐採前の状態にかえた。Coshocton では造林後5年間の平均で、この両月間の流出量25mmのものが、13～17年目には0.8mmに減少した。連続30日間の無降雨のときの（低水）流出量については、No. 17では伐倒後13mm増加した。No. 13でも伐倒後増加したが、16年目には無視できる程度になった。No. 19では増加は無かった。年々の最低瞬間流量は No. 17 では明らかに増加し、その後再生樹草が生育し始めるとともに増加量は小さくなり、さらにその後毎年再生樹草が除去されるようになってからは、ほぼ一樣な増加量が維持された。No. 13では伐倒直後最大の増加が起り、その後再生樹草の生育とともに、しだいに増加量が小さくなる傾向が明らかに認められた。No. 19でも増加が起ったが、5年間で影響はなくなった。

II-3-5. 高 水 流 量

(a) 日本における成果

玉手¹⁸²⁾は太田試験の資料により、この論文と同じ定義の増水量について調べている。すなわち、一連続雨量と増水量の比（増水流出率）を伐採前後の出水90例（1mm以下の降雨の場合と伐採前後で降雨強度の著しく異なるものは除外）について求め、これを5つの雨量階級に区分し、各階級の平均値を求めてそれぞれ伐採前後の比較をした。また増水量そのものについても同様にして平均値の比較をした。その結果、増水量は一連続雨量40mm以下では伐採後が伐採前より大きく、それ以上では逆に小さくなった、また増水流出率も同様であったと報告した。これは雨量のきわめて少ない場合の、しかもきわめて少数の資料に基づいていること、比較方法などに多少問題があろう。しかしこの資料から計算すると、一連続雨量全階級の平均で、増水量は伐採後1.48倍、増水流出率は1.43倍に増加したことになる。この値はそれぞれ

0.48~2.15, 0.53~1.95の平均値である。

釜淵試験の報告で、丸山⁶⁴⁾は約60mm以上の一連続雨量による2号沢の著しい出水を伐採前後期間にそれぞれ6例ずつとり出し、基準流域の増水量との比較から増水量は伐採後1.28倍に増加し、最大比流量は1.23倍に増加したことを例示した。この結果は有用な事例であるが、比較方法や伐採後に雨量の大きいものが多いなどの点で多少問題があろう。高橋¹²¹⁾は1954年までの約800例の出水資料をとり、これを14の一連続雨量階級で分け、各階級で増水量と増水ピーク流量の平均値を求め、それぞれ伐採前後期間で比較した。その結果伐採後中位以上の雨量階級に属する増水量と増水ピーク流量に増加する傾向があることを示した。高橋の示した資料から計算すると、一連続雨量の全階級の平均で、増水量は伐採後1.15倍、増水ピーク流量は1.05倍に増加したことになる。これらの値はそれぞれ0.73~1.27, 0.85~1.38の平均値である。この高橋の検討も雨量階級の幅の広い部分では雨量の差が大きく、比較方法に多少問題があろう。さらに高橋は2号沢と1号沢の夏期間における増水ピーク流量の関係を調べ、両者間に簡単な直線関係があることを確かめたので、両者の比をとり、比の頻度分布を伐採前後期間で比較した。その結果比の平均は伐採前期間で 1.049 ± 0.102 、伐採後期間で 1.099 ± 0.206 で、平均して2号沢のピーク流量が1号沢のそれより伐採前に約5%、伐採後約10%大きく、結局伐採後2号沢のピーク流量は約5%大きくなった、また伐採後比の値の分散が倍加したと報告した。

皆伐跡地へ切り取り階段工を築設した影響について小野⁸⁷⁾が報告している。釜淵試験の1961年5月から1962年8月までの無雪期間のピーク流量について高橋と同じく1号沢のピーク流量に対する2号沢のそれの比の頻度分布を検討した。その結果平均値 0.84 ± 0.26 を得、平均して2号沢のピーク流量は階段工築設後1号沢のそれより小さくなり、伐採前より21%、伐採後で築設以前の期間より26%小さくなった。しかし詳細にみると、小出水の場合は必ず小さくなるが、出水量が大きくなるにつれて差は小さくなり、さらに中位以上の出水では逆に大きくなる場合もあった。そして比が0.95付近に収束するとみられた。ともかく、階段工がピーク流量を緩和する傾向があることを報告した。ただしこの検討では、最大1時間雨量は30mmまでであった。

林業試験場岡山分場（現岡山試験地）²⁶⁾¹²²⁾¹²³⁾¹²⁴⁾では、プロット試験により階段工が地表流出水に及ぼす影響について試験した。傾斜 36° の山腹斜面に241, 229 m^2 の2区を隣接して設け、うち1区に幅0.4m、直高1.7mで階段工（法面わら伏せ、階段上にウィーピング ラブ グラスを突きまき）を設け、対照区には単に直高1.7mごとにウィーピング ラブ グラスを突きまきした。比較試験によりピーク流量は明らかに小さくなり、地表流出の開始・ピーク出現・流出終了のそれぞれの時刻が、対照区に比べ階段区ではおそくなるなどの結果を得た。

白井¹¹⁰⁾は竜の口山試験の1951年までの増水資料（南谷245, 北谷274）により、伐採前後の増水量を関連一連続雨量の11階級別の平均値と比較した。その結果北谷では、伐採後1階級を除いて他の階級ではすべて大きく（伐採前に対し伐採後は0.76~2.95倍、平均1.96倍）なった、また南谷でも2階級を除いて他の階級ではすべて大きく（伐採前に対し伐採後は0.48~3.41倍、平均1.66倍）なったと報告した。かつて内の数値は筆者の計算による。同様にして増水ピーク流量についても検討し、北谷では一連続雨量の11階級中4階級を除いて他の階級で大きく（伐採後は伐採前の0.16~2.18倍、平均1.17倍）なり、南谷でも4階級を除いて大きく（伐採前に対し伐採後は0.22~2.00倍、平均1.08倍）なったこと、また両谷の比較では伐採前には大差がなかったが、伐採後は北谷はるかに大きかったと指摘した。さらに白井¹¹¹⁾は竜

の口山試験の1957年までの増水資料から、初期水位階級別に平均増水ピーク流量 (l/s) を求め、伐採前・伐採中・伐採後の3期間別にまとめ、それぞれの期間について降雨の開始時からピーク出現時までの積算雨量・その間の最大1時間雨量・初期水位との重回帰関係式を求め、各期・両流域間で比較し、伐採・下刈によりピーク流量が増大する傾向を認めた。しかしその増加量はきわめて変動的で、また流域の地文条件によって左右されるが、 $100l/s$ 以上の大出水では地形条件や植生変化の影響は小さくなる。とくに後者の影響は小さくなるようにみられたと指摘した。なお $100l/s$ 以上の出水は平均で70~100mm前後の一連続雨量、最大1時間雨量で12~18mmの場合であった。

遠藤ら²⁴⁾は上川一南谷の択伐前後の出水資料を用い、単位流量図法と指数関数法とを併用して時間雨量から時間流出量を推定し、これから得た推定ハイドログラフと実測ハイドログラフを全出水資料について対照し、両曲線の差を択伐前後で比較した。その結果差に大きな変化はなく、ピーク流量などが伐採後変化したとは考えられないと結論した。

なお以下述べる各報告は直接林況変化の影響を扱っていないが、林相の良否との関係を扱っており、参考となろう。

中野ら²⁵⁾は特定地域で $1.1 \sim 28.0 \text{ km}^2$ の15流域をとり、一連続雨量50mmによる高水流量を測定し、一方で流域条件を測定し、両者の重回帰関係を調べて次式を得た。

$$q = 3.22L - 0.44W - 2.44L_e - 0.07F + 15.8$$

ただし、 q : 洪水比流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)、 L : レリーフレシオ、 W : 平均流域幅 (km)、 L_e : 到達距離集中度、 F : 森林係数 (森林面積率と 1 km^2 あたりの蓄積の平方根との積) である。

また野口²⁶⁾は同様な方法で、全国的な既存資料により次の2式を得ている。

$$\log q = 2.259 - 0.171 \log c$$

$$\text{または} \quad \log q = 2.351 - 0.216 \log c + 0.047 \log A - 0.124 \log B$$

ただし、 q : 洪水比流量 ($\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$)、 c : 森林面積率 (%), A : 流域面積 (km^2)、 B : 流域平均幅 (km) である。

その他同様な研究が武田¹²⁹⁾によっても行なわれている。これらの式中で、森林に関する項の係数はすべて負号である。

また東京大学愛知演習林における4試験流域の比較調査¹⁴⁾は、林相の良好な流域において最大時雨量に対する最大時流出量の比が小さいことを示し、武田¹²⁷⁾は宝川試験の2つの流域を比較して、森林の良好な流域においてほぼ同様な降雨による最大比流量が小さかったと報告した。しかし、これらについては根本的に地文条件に大きな差のある流域間の比較であり、信頼性に多少問題がある。

(b) 外国における成果

REINHART ら⁹⁴⁾は Fernow 試験で、基準流域の流出因子を独立変量として用いて本報告と類似の方法で、ピーク流量 (基準流域のピーク流量が $10 \text{ ft}^3/\text{s}/\text{mile}^2$ を越えた場合)、出水量 (一種の増水量で、出水開始時から水位が初期水位とピーク水位の中間水位になった時刻までの流量)、 $10 \text{ ft}^3/\text{s}/\text{mile}^2$ 以上の流量 (個々の出水)、 $10 \text{ ft}^3/\text{s}/\text{mile}^2$ 以上の流量の年間あるいは季節間の総量の4種の流出因子をいわゆる高水流量の表現因子として解析し、次のように報告した。伐採による高水流量の変化は、先行土湿条件その他の因子に左右されてきわめて変動的で、増加・減少の両方が起こり、ほとんど無変化のこともあった。伐採方法では皆伐の影響が大きく、択伐はほとんど影響がなかった。植物生育期間には増加が起こり、休

眠期間には増加・減少の両方が起こった。皆伐が上述の諸流出因子に及ぼす影響を期待量に対する変化の割合の平均でみると、ピーク流量は生育期間だけでは21%増、休眠期間だけでは4%減、年全体では4%増となった。同様にそれぞれの期間について出水量は24%増、3%増、7%増となり、 $10\text{ft}^3/\text{s}/\text{mile}^2$ 以上の流量については75%増、ほとんど0%の減、13%増となり、さらに $10\text{ft}^3/\text{s}/\text{mile}^2$ 以上の流量の年総量については42%増、1%減、11%増であった。

しかし、ピーク流量の生育期間における21%の増加というのは7例の平均期待量と平均変化量の比であり、各例の例をとれば約1%の減少の1例から最大161%の増まできわめて異なった変化で、0.05水準で推計学的に有意な例をあげれば33%、161%増の2例がある。同様にして休眠期間の4%減少は、約36%の減少から最大82%の増加までの各例の平均で、0.05%水準で有意な例は22%、36%の減少と82%の増加の3例である。増水量の場合も同様で、生育期間の24%増加というのは5～69%までの平均で、有意なものは37%、69%の2例である。また休眠期間の3%増加というのは、9%減少から39%増加までの平均で、有意なものは39%増加の1例である。他の2項についても同様な内容をもつ数値である。

BATES ら³¹⁾は Wagon Wheel Gap 試験で、高水位と低水位の比が皆伐前 12:1 であったものが、皆伐後 17:1 となったが、これは高水位が高くなったためと述べている。この流域では融雪水が年流出量の大部分で、この比は融雪出水ピーク流量の比較をいっているもので、HIBBERT³⁵⁾は春のピーク流量が皆伐により50%増加したことになると述べている。

HOYT ら⁴²⁾は前述の Santa Anita 調査で、山火直後の年の4回の豪雨に対する増水は約17倍であったが、2年目にはほとんど山火前の状態に復したと報告した。

Fraser 試験³⁰⁾⁶³⁾では、春の融雪洪水ピークは森林処理の内容とその時の気象条件によって決まるようで、40%択伐後第1年にわずかに増加し、2年目には減少したが、3年目には期待量の30%増となった。

Coweeta 試験の No. 13, No. 17 流域³²⁾⁵³⁾¹¹⁵⁾では、皆伐倒後高水期間の最大ピーク流量には感知されるほどの変化がなかった。これは伐採木はいっさいその場に放置され、かつ地表がかく乱されなかったことに関係があるとされた。しかし、No. 3 流域では強雨による出水の顕著なピーク流量を、伐採前と伐採・耕作・放牧の後とでそれぞれ3例ずつとった場合、前者は $0.46\sim0.58\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (ただし、一連続雨量 $46\sim52\text{mm}$, 最大10分間雨量 $15.7\sim23.2\text{mm}$)、後者は $0.96\sim4.28\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ($22\sim44\text{mm}$, $17.0\sim25.3\text{mm}$) で、降雨条件は必ずしもきびしくないにもかかわらず、後者の方がピーク流量はるかに大きい (平均4.23倍) ことを示した。

Harz 山地試験¹⁴⁾によれば融雪に雨が伴った場合で洪水ピーク流量は森林流域の方が大きかったが、夏期のそれは皆伐流域の方が大きかった。

Tennessee 州の White Hollow 試験¹³⁰⁾では、小さな谷止工その他の侵食防止工事を行ない、非林地部分 (34%) に Black locust, 各種のマツ類を造林した後2～3年の間に夏期のピーク流量は激減し、期待値の5～27%にすぎないものとなった。その後はこれらよりさらにわずかながら小さいものとなった。当然、ある水準のピーク流量の発生頻度は成林とともに減少した。たとえば成林10年後の夏期の最大ピーク流量は、造林前には10回以上も起こっていた。一夏に5回以上起こるピーク流量は造林前の $49\text{ft}^3/\text{s}$ から成林20年目の $3\text{ft}^3/\text{s}$ に小さくなった。冬季のピーク流量は夏のそれほどに減少せず期待量の72～100%で、その最大の減少は地表流出量 (増水量) の大きい出水で起こった。夏の出水の半数について流出時間は5倍以上に延長された。しかし、増水量そのものは変化しなかった。この試験結果は単純な植林だけで

なく、小規模ながら治山工事をともなっている点に注意を要する。

Tennessee 州の Pine Tree Branch 試験¹⁸¹⁾では編柵谷止工などの侵食防止工事を施設した後、各種のマツなどを流域の非林地75%に造林したことにより、地表流出量は減少した。減少量は雨量・雨量強度・先行土壌水分によって変動し、期待値の11~48%の範囲のものとなった。減少することは季節で違いがなかったが、これは針葉樹が1年中影響することに関係があるかと報告している。ピーク流量も季節に関係なく著しく減少した。増水量・降雨強度・先行土湿条件によって左右されるが、中位以上のピーク流量は期待値の10~30%の範囲のものとなった。増水量の時間分布は、溪間工作物や植生による高い貯留作用のために、延長されたと報告された。

ROTHACHER⁹⁹⁾は H. J. Andrews 試験の No. 3 流域で道路築設のため森林を8%伐採した後も、その後追加伐採して25%除去した後もピーク流量には変化が起らなかった。ただし降水条件は、最大のもので一連続雨量(3日間)313mm, 1時間最大雨量10mm程度であったと報告した。

KITTREDGE⁵⁰⁾は既往の多数資料を要約し、森林流域からのピーク流量が $0.65 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ を越すことはまれであるが、侵食跡地あるいは裸地からのそれは $5.38 \sim 10.75 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ あるいはそれ以上にもなることがあり、単に森林を伐採して伐跡地に低木・草が残るか、再生した状態ならば20~40%ほどの増加であるが、裸地化すると数倍にもなることを指摘した。

ANDERSON¹⁾らは California 州の多数流域について調査し、山火面積率と洪水流量の増加程度との関係を調査し、山火後 1, 3, 7, 15年目の各年に区分して考えると、それぞれにかなりまとまった指数曲線の関係(山火面積の増大につれてピーク流量は急増する)があること、しかも後年に至るにつれて曲線の勾配は格段に緩になることを示した。また、大洪水時に多数流域の最大比流量を調査し、これととくに密接な関係にある降雨・流域因子との重回帰関係を解析して次式を得ている。

$$\log Q = 3.624 + 0.928 \log A + 0.723 \log P + 0.860 \log r_b \cdot r_s / r_e - 1.152 \log C$$

ここで、 Q : 最大流量 (ft^3/s), A : 流域面積 (mile^2), P : 最大24時間雨量 (in), r_b : 流路の分岐状態に関する指数, r_s : 流路の勾配に関する指数, r_e : 流路の延長に関する指数, C : 森林被覆面積・林相などに関する指数(%)で、この式で C の係数が負号であることに意義がある。

California 州南部で、山火を受けた流域と40年以上山火をこうむったことのない流域の比較調査⁹⁾をしたところ、降雨規模を大・中・小に区分すると、山火後ピーク流量はそれぞれ2~3, 3~10, 10~30倍となり、山火跡地の放置(再生樹草の回復を意味する)により山火前のピーク流量にもどるのに要する期間は60, 40, 20年と推定されるとした。変化する理由は浸透能の減退、したがって地表流出の増加であるとされた。

II-3-6. 年間流出の一様性

荻原⁸⁵⁾は年間流出の一様性を年平均日流出量のまわりの各日流出量の分散の程度、すなわち推計学における標準偏差にあたる日流出量散布度なる統計値で表わすこととし、竜の口山試験の初期の資料で南・北両谷の比較を行なった。さらに両谷の雨量がわずかながら異なることを考慮し、日流出量散布度と日降水量散布度の比で両流域の比較を行ない、いずれも南谷の方が一様性が高いと報告したが、いまだ基準期間のため伐採の影響を求めるには至らなかった。

荻原⁸⁵⁾はさらにこれを一般化するため、各瞬間流量の平均流量からの変動(流度と呼んだ)で示すことを提案し、この流度曲線を用いて東京大学愛知演習林の4流域の資料を検討し、林相の良い流域ほど一様

性が高いとした。

中野ら⁷⁰⁾は一様性が高いと同時に平均流量が多いほど少雨地帯では望ましいという考えから荻原らの標準偏差を用いた方法を改め、推計学でいう変異係数を用いることを提案し、さらに標準偏差も変異係数も単に日流出量の分散をみるだけで、分散が日流出量のどれくらいの大きさのところに集中されているかは考えていないことに着目し、これを合理化するため、DAVID の提案から L 数なる値を定義した。そして、これら表現値を用い、竜の口山試験の1947年までの資料により南・北両谷の森林の皆伐による一様性の変化を調べた。その結果皆伐後一様性が低下する傾向を認めた。

野口⁸¹⁾はさらに変異係数による方法を改め、中野や荻原らの提案を合成した値を用い、かつ雨量の標準偏差をも考慮に入れるべきだとし、これによって東京大学愛知演習林の4流域間の比較を行なった。その結果、林相の良い流域に一様性が高く、また林相の向上とともに一様性が高くなることが推定できるとした。

平ら⁸⁴⁾は変異係数を用い、基準期間における処理流域の変異係数と基準流域のそれ、または、基準流域がないときは、関連の密な気象因子との重回帰関係を求め、得られた回帰式から処理期間に森林がもし処理されなかったとした場合の期待値を求め、これと実測流出量による変異係数との比較を行ない、これによって伐採による一様性の変化を経年的に調べている。すなわち、本論文と同じ6つの試験流域の資料により皆伐・択伐が年・夏期・冬期・積雪期・融雪期各期間の一様性に及ぼす影響を検討し、その結果多くの流域と期間で、伐採後一様性が低下することが認められたが、流域によっては融雪期の一様性が向上することがあり、またほとんど無変化の期間があることなどが明らかにされつつある。

米国では SEARCY の提案で流量継続曲線で処理の影響を表現することが行なわれている⁹⁴⁾¹⁰⁷⁾。この論文でいう一様性とは表わし方を異にしているが、年間流出のうちの豊水流量とか低水流量などのどの部分に、森林処理の影響が強く現われるかをみる1つの方法である。この曲線は、たとえば日流出量が等しいか、あるいは超過する日数の年間の割合を示すもので、 X 軸に日流出量、 Y 軸にその流出量がある期間内にとる日数の総日数に対する百分率を取り、プロットして描かれるものである。REINHART らは FERNOW 試験の資料にこれを用いて検討している。まず基準・処理両流域の、基準期間の夏期における各日流出量階級ごとの日数間の直線回帰を求める。これによって、処理流域の処理期間における日数の期待値を、処理期間における基準流域の日数から求め、これにより百分率値を求めて曲線を半対数スケールで描く。つぎに、処理流域の処理期間の実測日流出量から求めた曲線を同じ図に描き、両曲線のくい違いをみた。その結果、皆伐により低水流量部分に増加の傾向があることが明らかに示された。

II-3-7. 植生地被と土壌水分

この論文では、後の項で、伐採による増水量の変化と流域の初期乾湿条件との関係を検討するが、それにはまず伐採と流域の乾湿条件、いかえれば林地土壌の乾湿条件との関係について考えてみる必要がある。

このため、林地土壌水分の季節変動、植生地被と土壌水分との関係に関する既往の、多数の研究成果をここで概観しておく。

まず林地土壌水分の季節変化については次のような成果が報告されている。

玉手¹²⁶⁾は東京・目黒の平地でヒノキ壮齡林地と雑草地の土壌を深さ10, 20, 30cmの層で、3年間にわたり月1回重量法で調査し、土壌水分は冬期に最多で、夏期に最少、春・秋期はその中間となる傾向があ

ると報告した。

四手井ら¹⁰⁸⁾は釜淵の平地のスギ壮齢林地とスギ伐跡地で、深さ 1 m まで 6 層で前同様の簡易法で調べ、融雪直後(春期)と夏期に減少し、冬期とくに融雪期・梅雨期に増加すると述べている。これら 2 つの調査は月 1 回程度の調査であるから個々の降雨の直後の細かい変動については資料を得ていない。

METZ ら⁶⁷⁾は South Calorina 州で、Loblolly pine, Broomsedge, 侵食された裸地、短葉松と広葉樹の混交林の 4 区を現実林地に区画し、約 168cm 深さまで Colman fibreglas soil moisture unit で 5 年間調査し、0～38, 38～76, 76～107, 107～137, 137～168cm の 5 層の測定から土壌水分の消失と土壌水分リチャージは周期的で毎年繰り返えされており、土壌水分リチャージは晩秋か、初冬に始まり、生育期に入るとともに減少しはじめ、晩秋まで減少がつづくとして述べている。

MARSTON⁶³⁾は Ohio 州南東部で、Oak, Pine, Broomsedge, Brush, 植生除去の 5 種のプロットを現実山地に区画し(各植被ごとに 3 回繰り返えし)、深さ約 90cm まで、それぞれ 13, 23, 56cm の厚さの 3 層について大体週 1 回重量法で 22 か月間調査し、全年をとおすと前記 3 調査の結果とはほぼ同じ傾向がみられたと指摘した。

HELVEY ら⁸³⁾も Coweeta での 7 か年にわたる調査で、前同様な結果を認めた。また、BISCHOP⁶⁾も Oregon 州北東部の山地で、Lodgepole pine 林にプロットを区画し、0～30, 30～60, 60～基岩の 3 層について重量法で隔週測定し、同様な結果を報告している。

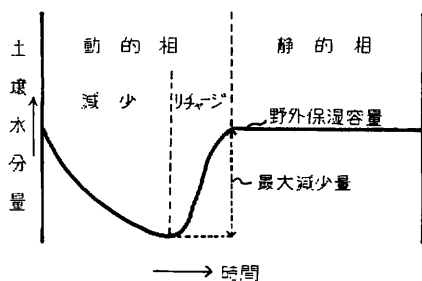


Fig. 1 土壌水分の年間周期変動の模式図⁵⁾

BETHLAHMY⁵⁾は以上の結果をまとめて、土壌水分は年周期変動があり、1 周期を模式図 (Fig. 1) に示した。動的相は一般に野外保湿度以下の状態(もちろん雨しだいで野外保湿度あるいはそれ以上になることがある)、静的相は野外保湿度の付近で変動する状態の時期の大勢を示すものであるとしている。

以上述べた調査は気象・土地の条件が異なるにもかかわらず、結果は一致しており、一般的にこのようなことが言えるとしてよからう。動的相が生ずるのは玉手も述

べているように、蒸発・地温などの影響によるが、夏期・冬期はいいかえれば植物の生育・休眠期間で、いわゆる蒸発の中で蒸散が占める割合が重要であることが推定される。ともかく夏期は、土壌水分したがって流域の乾湿状態(湿潤抵抗)についてはかなり変動的でありうることを、時には相当の土湿不足があることがわかり、増水量の変化をもたらすような湿潤抵抗の問題がありうることを示している。

つぎに植生地被と土壌水分との関係については、次のような成果が報告されている。

ESCHNER²³⁾は Pennsylvania 州東部の山地で、裸地・低木・Scrub oak と低木・Scrub oak だけおよび植生を葉で枯殺し腐植だけを荒らさないで残したものの 5 種のプロットを区画し、0～15, 15～30, 30～45cm の 3 層で、7 か月間調査した。その結果、次のことを報告している。植生地被別に土壌水分量には明らかに差があり、同じ時期したがって気象条件下で植生地被が完全に枯らされ、しかも腐植が完全に残された区で常に土壌水分は最多で、これに反して Oak と低木から成る区に常に最少であった。すなわち、生育期間(5月27日～8月13日)で、45cmの全層についての平均土壌水分は腐植>Scrub oak だけ>裸地>低木>Scrub oak と低木の順で、両極端区の差は 53mm、乾燥期間(7月17日～8月29日)も

この順位で、両極端区の差は 81mm であった。腐植層と表土数 cm が除かれた裸地は消失も少ないが、浸透が悪いため中位である。この結果から、可能か否かは別として、腐植層を完全に残してしかも植生を完全に除くことが最多土壌水分量を得るのに必要と考えられた。

LULL ら⁵⁹⁾は Montana 州の山地で、35年生の Oak と Hickory の混交林地に裸地・Litter だけ・Litter と林木および林木だけの 4 プロットを区画し、深さ約 17cm ごとに 6 層の土層について 2 か年調査した結果、次のことを述べている。6～8 月期間の土壌水分量は Litter だけ>裸地>林木と Litter>林木だけの順で、Litter だけの区は林木と Litter あるいは林木だけ（この両者の差は小さい）の区の 1.3～1.5 倍であった。裸地はほとんど中間の値であった。すなわち、林地の上層土壌（約 1 m の厚さ）は裸地よりも約 76mm、Litter だけの土地よりも約 152mm だけ少なかった。これらの結果は ESCHNER のそれとよく似ている。

BETHLAHMY⁵⁾は Oregon 州西部で、Douglas fir-hemlock 林で、皆伐区と未伐採区を区画し、重量法で 8, 23, 38, 53cm の各層について調査した結果を次のように述べている。皆伐は土壌水分損失を減少し、同じ条件下で皆伐区は未伐採区の約半分（53cm 土層全体について）であった。

METZ ら⁶⁷⁾も前述の試験で、無降雨 40 日間における Lodgepole pine 林地の土壌水分減少（147mm）は Broomsedge（102mm）の 1.5 倍、裸地（74mm）の 2 倍であった例をあげている。なお、この試験地の平均年降水量は 1220mm であった。

VEIHMAYER ら¹³⁶⁾は California 州で、基準区（Camise 密生）と毎年伐採焼却する区を区画し、2 か年間重量法で、深さ約 15cm ごとに 7 層の土層で調査したが、全体として土壌水分損失は基準区より処理区の方が少なかったと報告した。

MARSTON は前述の試験で、次のことを報告している。6 か月の生育期間に消失された土壌水分は植生除去区で 508mm、マツ区で 635mm であった。野外保湿度量までに、土壌水分を補充するに要した休眠期間雨量を 2 か年平均で比較すると、植生除去区 30, Broomsedge 51, Brush 121, Oak 201, Pine 215mm で、生育期間末期の土壌水分不足は 23, 39, 55, 117, 120mm、差は遮断と蒸発散のためで 7, 12, 66, 84, 95mm であった。当然この地被順に最大流出量は小さく、Pine 区で最小であった。これらのことから森林下では、土層全体として土壌水分が植生除去区より少なかったことが知られる。

SKAU¹¹⁴⁾は Arizona 州の山地で、Utah juniper・Alligator juniper の区とこれらを伐採した区を設け、重量法で上層 60cm の土層の水分を 1 年間調査し、常に伐採区の方が多かったこと（有・無林区間の差は 25mm）を認めた。

Arizona 州の山地で、草地・Aspen 林地・混交針葉樹林地の土壌水分が 3 年間調査され²⁷⁾、年平均値で、Aspen 区 23.7, 混交針葉樹林区 18.7, 草区 17.2 in で、Aspen 区が最も多くの水を消失された。もっとも針葉樹区の場合も融雪期後全土層が湿ったならば、もっと大きな消失を受けたはずとみられた。

このほか古く COLTHARP¹⁰⁾、CROFT ら¹⁸⁾、KOSHI⁵¹⁾、LULL ら⁵⁸⁾、ZINKE ら¹⁴⁴⁾も、気象条件・土壌条件が非常に異なる地域で行なわれたにもかかわらず、皆伐跡地や裸地よりも林地で土壌水分の最大減少は大きいと、前記各調査と同じ結論を報告している。

玉手¹²⁶⁾は前記試験の結果、表層 30cm 土層の土壌水分は常に林地の方が裸地より季節変動が少なく、かつその量も多い（年間で 8.8%）、とくに夏期の乾燥期には両者の差が大きかった（22%）と述べており、また四手井¹⁰⁸⁾は前述の調査で、1 m くらいまでの土層の平均含水量は森林の有無で大差がなかったと述

べており、前記した米国における多数の調査例と異なるかのようにみられる。この理由はいろいろ考えられるが、次のことで説明できよう。

四手井らは次のことを認めている。すなわち、有林地では表層土層の含水率が大で、変動が少ないが、下層土層ことに根系集中部位では含水率が小で、変動が大きい。しかるに無林地では、同じ時期に表層土層の含水率が比較的小で、変動が大きい、下層では含水率が比較的大で、変動が小さい。また VEIHMAYER は前述の試験で表層の土壤水分は蒸発が変動させるが、これより深いところのそれは、主として蒸散によって変動するらしいとしている。ESCHNER も前述の試験で、夏季における 2 つの樹種間の土壤水分の違いは表層と深い層とに有意で、中間の層では有意な差がなかったが、これは雨水の到達の仕方にも関係があるろうが、主として根系の位置を含め、根の働きの違いによるものであると述べている。また MARSTON は、前述の試験で、林木（マツ・Oak）区は表層よりも深い層での土壤水分減少が明らかに多かったが、草区ではこのような傾向はなく、低木区は両者の中間であった。これは植物の種類による根系の深さに関係があるとした。植生完全除去区は林木区と同じ傾向であったが、深い層での水分減少量は林木区の半分以下であった。この区は植被区と雨水の供給に明らかな違い（浸透能が劣る）があるので比較は困難であるとした。LULL らは、降雨終了後無降雨のときの表層の土壤水分減少レートは Litter だけの区が小さいが、他は裸地・林木・林木と Litter の各区のいずれもほぼ同じであった、しかし深い層では裸地は林木区の 1/2~1/4 であったと報告した。Metz らは前述の試験で、林木は深さ 170cm 前後のところまで土壤水分を減少するが、裸地・草地では 80cm くらいまでで、それより深いところからの減少は少ないと報告した。Rocky Mountain 林野試験場⁹⁸⁾が Nebraska 州で 20 年生の針広混交防風林帯で、中性子水分計を用いて土層深さ 30cm ごとに 2 年間調査したところによると、生育期間の初期には浅い土層から大量の水が使用され、その後逐次深い土層からも利用されるようになり、結局 3 m くらいまでの土層から林木は水を利用するらしいという。Pacific Northwest 林野試験場⁹⁹⁾が Washington 州北中央部の山地で Lodgepole pine の伐採が土壤水分に及ぼす影響を調べたところ、土壌が深いところほどその影響が大きかったという。これは植物の根系の発達と水分供給能力に関係があるろうと述べられている。

これらの調査から、一般に林地では伐採跡地などの無林地に比べて、表層の土壤水分が多いが、ある深さ以下では少ないといえるようである。このことから、土壤水分をどの程度の深さまで測定したかによって、結論に違いを生ずることはありうるわけである。

ある地の土壤水分の多少は、供給される降水の多少、蒸発散による消失、他への浸透と流過によって決まる。森林は遮断により地表面に到達する水量を減少することは明らかであるが、それにもかかわらず到達した降水をよく土層に浸入させ¹⁰⁰⁾、しかも地面からの蒸発（下草・低木の蒸散を含む）を抑制するため、結局無林地に比べて常にごく表層部の土壤水分の減少を少なくしていると考えられる。一方、蒸散によって土壤水分を消失するが、これは根を通じて行なわれる。すなわち、根系の分布する位置の土壤水分が主として消費されるが、根系の分布位置は樹種の個性・土層の性質などによって異なる。一般的に根系の分布はまったくの表層ではなく、それ以下の深さのところであるといえよう。したがって、この層では伐跡地などの無林地に比べて、有林地に土壤水分の減少は多い。結局有林地では無林地に比べて表層土層は含有水分が多いが、根系層では少ないこととなる。しかし、根系層までを含む有林地の土層と同時期の無林地の同じ深さの土層を比較すれば、有林地の方が土壤水分は少ない、いいかえれば乾いているといえるようである。ここで無林地とは高木・低木を除いた土地ということで、草地・Litter だけでおおわれた

土地・Litter もない完全な裸地も含まれる。

Ⅲ 研究の方法

Ⅲ-1. 方針と手順

前項で、既往の研究の方法と成果を概観したが、これらのことからまず研究方法について、以下述べるいくつかの問題点のあることが認められた。

既往の研究のほとんどが各試験流域のそれぞれについて単独に行なわれており、したがって解析の対象としてとりあげられた流出因子もまちまちであり、解析の方法も異なっている。水文現象は降水など気象条件はもちろん、森林など地文条件の違いによって明らかに地域性がある。森林の影響をできるだけ一般的にみるためには共通の流出因子について共通の解析方法で、できる限り各地域の多数の流域を同時にとりあげて解析する必要がある。

従来わが国における研究のほとんどは、処理期間を一括して扱い、森林処理による処理期間の平均的な流出変化を検討しているが、処理期間中の各年ごとの変化を調べていない。このため伐跡地の再生植被の経年的変化にともなう流出の経年的変化にふれたものは少なく、2～3²²⁾¹⁷⁾¹⁷²⁾あるだけで、きわめて不十分であったと言える。伐跡地での植被の回復により、流況の変化がどのような速さで伐採前の流出状態に復するかを明らかにすることは、森林の保全的取扱い上きわめて重要なことである。現に米国ではこのような経年的解析がひろく行なわれてきたことは前項で述べたとおりである。経年的解析を行なうことによって、処理期間中に再生樹草に加えられた変化や、階段工の築設などによる流出変化を森林処理前の流出状態との比較で検討することができる。また、処理期間における流出の変化には、森林処理のほかに年々変化する気象条件が関係していることが十分考えられる。気象条件の影響も同時に明らかにしないと、森林の影響を正しくはあくすることができない。経年的解析の行なわれなかった従来の研究では、この面の検討はほとんど行なわれていない。

森林処理の影響を年間流出の全体に対して明らかにし、かつ影響の理由をも検討するためには、従来とりあげられてきた流出因子だけでは必ずしも十分ではない。すなわち、一連続降雨による出水から年間の流出まで、いろいろの期間の流出について検討してみる必要があるが、従来は月単位あるいは季節単位での検討はきわめて不十分であった。月流出量や季節流出量についての検討によって、森林処理の影響が年間流出のどの時期に現われるかなどのを確かめ得るとともに、流出が変化する理由すなわち、森林の機能を検討する根拠のひとつが得られることとなる。

従来わが国では、森林処理が低水流量に及ぼす影響についての研究はほとんどなく、また年間流出の中での豊水流量と低水流量の分配に及ぼす影響についての研究もまったくなかった。河水資源と森林の関係を明らかにするためには、これらの研究がぜひ必要である。

さらに従来は、既往の研究成果との対比による検討が必ずしも十分ではなかった。

以上のことを考慮して、緒言にあげたような方針をたて、以下述べるようにこれを具体化して研究をすすめた。

まず、上記方針による検討に必要な資料を得られた次の5か所の森林理水試験地の6つの試験流域を研究の対象としてとりあげた。すなわち、農林省林業試験場の上川試験地の北谷流域、釜淵試験地の2号沢流域、宝川試験地の初沢流域、竜の口山試験地の南谷ならびに北谷流域、および米国 Colorado 州 Wag-

on Wheel Gap 試験地の B 流域である。

各流域ともほぼ共通に採りあげられた流出因子は、年（水年）流出量（率）、年間流出量を河川調査における流況の指標である豊水量・平水量・低水量・渇水量を参考にして 4 区分された豊水・平水・低水・渇水各流出量、同じく年間流出量を季節で区分した夏期・冬期両流出量（率）とさらに積雪地方では冬期流出量を積雪・融雪の主たる発生時期により区分された積雪期・融雪期両流出量、月流出量、一連統降雨による出水時の増水量と増水ピーク流量、年間流出量の中で占める豊水・平水・低水・渇水各流出量の割合、すなわち豊水・平水・低水・渇水各率である。ただし資料の関係で、豊水流出量など 4 種の流出量、豊水率など 4 種の率、増水量および増水ピーク流量については、6 流域全部で採りあげられたわけではない。

前項で述べたように、従来わが国ほか各国では、年・夏期・冬期各流出量と森林処理との関係については多くの検討が行なわれてきたが、他の季節流出量・高水流量・低水流量・流出の一様性との関係についてはきわめて不十分であり、月流出量のそれなどはほとんど行なわれたものがない。

これら 6 つの試験流域で行なわれた森林の試験処理は、成熟林分の皆伐・択伐、ついで伐採跡地の再生樹草の放置・刈払い・焼却あるいは山火による焼失、植栽、階段工の築設である。これらをすべて採り上げ、かつその影響を伐採前の流出との比較で検討された。

従来わが国では、伐跡地への樹草の再生とその消長あるいは階段工築設の影響を、伐採前の流出状態との比較で検討したものはなかった。

つぎに解析にあたっては、すべての流域と流出因子について一貫して以下述べる共通の方法がとられた。

この論文で採りあげられた水文資料は、前述の上川・釜淵・宝川・竜の口山・Wagon Wheel Gap 各森林水試験地でそれぞれ 18, 26, 24, 28, 16 年間にわたり観測されたものであるが、これらの期間に各試験流域では、前述の単独流域法あるいは基準流域法のいずれかで試験が行なわれた。

上川試験地の北谷流域は、元来南谷流域の基準流域として設けられたが、ある年発生した台風による林木の風倒・風折被害のための不測の林況の激変と引きつづいて行なわれた風害林木の伐採処分を試験処理と考えれば、その年を境として基準・処理両期間をもつ単独流域法が行なわれたものと考えてよからう。釜淵試験地では当初計画のとおり、1 号沢流域を基準流域として 2 号沢流域に試験皆伐が行なわれ、基準流域法が適用された。宝川試験地では、当初計画とは異なるが、この研究に使用された資料の範囲では本流域を、基準流域として初めに試験のための択伐が行なわれ、基準流域法が適用されたものと考えられよう。竜の口山試験地では当初基準流域法によるべく南・北両谷流域が区分設定されたが、主林木の虫害のため全面伐採という不測の事態により、両流域にそれぞれ単独流域法が行なわれたと同じ結果になった。Wagon Wheel Gap 試験地の B 流域では、A 流域を基準流域として基準流域法により試験が行なわれた。

さて、つぎのように解析がすすめられた。

まず上述の、6 つの試験流域の基準期間における上述の各流出因子について、後の項で述べる方法で吟味を行ない、時系列であるこれらの値の系列に系列相関と Trend があるかどうか確かめられた。これがないことが確かめられてから次の解析にすすんだ。

すなわち、基準流域法による資料については、基準期間における処理流域の流出因子（従属変量）と基準流域の同種流出因子、またはこれと森林処理により影響を受けなかったと考えられる関連気象因子との

組合せ因子（独立変量）との間の通常の回帰解析を行ない、有意な回帰方程式が求められた。また、単独流域法による資料については、独立変量として前同様の関連気象因子の組合せ因子がとられて同じく通常の回帰解析が行なわれ、有意な回帰式が求められた。

これらの回帰式に処理期間における独立変量が代入されて、処理期間における従属変量の期待値が計算された。この期待値はもし処理期間において、森林に試験処理が加えられなかったときはこのようになったであろうと考えられる処理流域の流出因子の値である。いいかえれば、基準期間における上述の回帰関係は、もし森林など流域諸条件に変更が加えられなければ、処理期間にも延長して適用できるはずであるとの仮定が行なわれた。

つぎに処理期間において、実際に測定された流出量の値と期待値の差が求められた。

これらの試験の期間のような短期間における地形・地質条件の自然の変化は無視できると考え、この差すなわち流出の変化はもっぱら森林植生の変化と気象条件の違いによるものと考えられた。このことは差の経年変化と植被および気象条件の経年変化の対照で説明された。

なお推定された上述の回帰関係には当然誤差が含まれているから、期待値したがって差にも誤差が含まれているはずである。この差の信頼できる程度は差が偶然起こりうる確率の大小で示され、結果の解釈の参考とされた。

最後に差すなわち流出の変化が流出因子別・試験処理の種類別に整理され、既往成果との比較・検討により森林処理の影響の普遍性が検討され、変化の地域性や理由などが検討された。

なおこの研究にさきだって、いわゆる Double-mass analysis による予備的検討を行ない、より詳細な解析の必要性和可能性が確かめられた。

独立変量が3つの場合の計算

（重回帰方程式の推定）

$$y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 \cdot \dots \cdot y_n, \quad x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n, \quad u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot \dots \cdot u_n, \quad v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot \dots \cdot v_n,$$

の測定値で、次の重線型回帰方程式を推定する。

$$y - y_0 = \beta_x(x - x_0) + \beta_u(u - u_0) + \beta_v(v - v_0)$$

$$\begin{cases} \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n \\ \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \\ \bar{u} = \sum_{i=1}^n u_i / n \\ \bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i / n \end{cases}$$

$$y - \bar{y} = b_x(x - \bar{x}) + b_u(u - \bar{u}) + b_v(v - \bar{v})$$

$$\begin{cases} b_x \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + b_u \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(x_i - \bar{x}) + b_v \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \dots \dots \dots \textcircled{a} \\ b_x \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(u_i - \bar{u}) + b_u \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 + b_v \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(u_i - \bar{u}) = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(y_i - \bar{y}) \dots \dots \dots \textcircled{b} \\ b_x \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(v_i - \bar{v}) + b_u \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(v_i - \bar{v}) + b_v \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 = \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(y_i - \bar{y}) \dots \dots \dots \textcircled{c} \end{cases}$$

$$Y_e = b_x(x - \bar{x}) + b_u(u - \bar{u}) + b_v(v - \bar{v}) + \bar{y}$$

(重回帰方程式の有意検定と重相関係数)

$$b_x \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) + b_u \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(y_i - \bar{y}) + b_v \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(y_i - \bar{y}) = C$$

d.f. = 独立変数の数 = N

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = S_2$$

$$S_2 - C = S_1$$

$$C/N = B$$

$$S_1 / \{n - (N+1)\} = A$$

$$B/A > \frac{F}{n - (N+1)} (0.05) \dots \dots \dots 0.05 \text{水準で有意}$$

$$r_{y, xuv} = \sqrt{C/S_2}$$

(期待値の誤差)

$$\pm t \cdot \varepsilon = \pm t \left[A \{ 1 + 1/n + C_{xx}(X - \bar{x})^2 + C_{uu}(U - \bar{u})^2 + C_{vv}(V - \bar{v})^2 \right. \\ \left. + 2C_{xu}(X - \bar{x})(U - \bar{u}) + 2C_{xv}(X - \bar{x})(V - \bar{v}) \right. \\ \left. + 2C_{uv}(U - \bar{u})(V - \bar{v}) \}^{1/2} \right]$$

(1) (2) (3)		(1) (2) (3)
$\left\{ \begin{array}{l} \text{㊸式の右辺} = 1 \quad 0 \quad 0 \\ \text{㊹式の右辺} = 0 \quad 1 \quad 0 \\ \text{㊺式の右辺} = 0 \quad 0 \quad 1 \end{array} \right\}$	としたとき,	$b_x = C_{xx} \quad C_{xu} \quad C_{xv}$ $b_u = C_{ux} \quad C_{uu} \quad C_{uv}$ $b_v = C_{vx} \quad C_{vu} \quad C_{vv}$

$t: n - (N+1), \alpha$ 水準の t 分布

(“差”が偶然に起こる確率 $P, \{n - (N+1)\}$ に相当する t 分布)

$$t_p = (Y_a - Y_e) / \varepsilon$$

Y_a : 実測値, Y_e : 期待値

Ⅲ-2. 解析における仮定の吟味

以上のように、解析を進めるにあたっては2つの仮定が行なわれている。1つは森林植生の成長にもとづく林況の自然変化に関する仮定であり、他の1つは解析過程での数学的取り扱いに関する仮定である。

基準期間において基準・処理両流域の森林植生は年々自然の成長をつづけている。処理期間においても基準流域の森林植生はもちろん処理流域で処理されなかったとした場合の想定森林植生も成長をつづけているものと考えなければならない。したがって、この林況の変化にともなって、厳密には流出も影響されているはずである。しかるに上述の解析では、基準期間における各種流出因子の各測定値をすべて同等の立場において用いることとなり、また基準期間における回帰関係はそのまま処理期間に延長して適用できるものとしている。すなわち、このような森林植生の成長の流出への影響は無視できるものとされている。したがってこのような仮定が、容認できる程度のものであるかどうかを確かめておく必要がある。その方法の1つは解析目標である流出因子の測定値の時系列が基準期間において Trend を有するかどうかを確かめることである。植生の成長速度からみれば、比較的短期間である基準期間において、なお植生の漸進

的成長が流出にかなり影響するとすれば、このために流出因子の時系列はなんらかの Trend を有するはずである。したがってその有無を検定し、これが無ければ、いったん成林した森林の通常の成長にともなう流出の変化は短期間ではいちおう度外視できるとしてよからう。

つぎに、数学的取扱いの過程における仮定については、2つ以上の変量間の連関を解析する場合の一般的な3つの仮定を吟味する必要がある。

まず、測定値がそれらの母集団の状態を代表しているというもので、これについては本来測定開始前、いいかえれば試験計画樹立の段階で考えられるべき問題であって、このようにすでに行なわれた試験の解析では、解析結果を地域的・時間的にどの程度まで拡張して考えうかの問題となり、これは常識的に控え目に考えればよいことであろう。

つぎに、測定値はたがいに独立であるというもので、測定値がたがいに独立でなければ推定される関係の信頼性は低くなり、期待値にかたよりが生ずることになる。

この解析に用いられる流出因子・気象因子の測定値は、すべて時系列であると言える。一般に時系列では、ある測定値に関する知識は次の測定値の大略の予測値となる、言い換えれば通常時系列では連続した測定値がたがいに従属性と類似性を持つという特徴がある。また、水文気象関係の測定値の時系列では、測定値の平均水準が、順序よく変化しているために起こる一般的傾向、すなわち一定の増加（上昇）、減少（下降）、あるいは両者の交互繰り返しをしている場合もしばしば考えられる。ここで用いられる資料にこれらの性質があれば、その影響を除かない限り正しい解析、すなわち林況変化の流況への影響を正しく検出することはできない。したがって、この仮定に関しては十分に吟味する必要がある。

この仮定の吟味とは測定値の時系列の系列相関と Trend の有意性を確かめることである。しかし、ここで注意すべきことは、従属変量か独立変量のいずれかに系列相関が無ければ、少なくとも用いられる資料の範囲でそれがないか、あるいは無視できる程度であれば、通常の回帰解析法がそのまま使用できるということである。その理由はどちらかの系列が無作為または無作為に近ければ、その系列の各測定値は相関係数・回帰係数の値について、まったく新しい知識を与えているからである。そこで、この論文の場合、従属変量は必ずなんらかの流出因子であるが、まずこれらの系列相関を確かめる必要がある。そして、この報告の中の各流域に関する限りでは、地形が急峻で、しかもきわめて小さい流域からの流出であるから、1次系列相関についてその有意性を確かめれば足りるものと考えられた。

この報告では、上述の Trend の検定は次のように行なった⁷⁰⁾。

まず、各試験地の処理流域の基準期間における従属変量について、確かめることとした。各変量の t （年次経過）に関する1次関係において最尤法により回帰係数 α と縦軸切片 r_0 の最尤値を求める。任意の年の変量が t につき一定の分散をもって平均値

$$E(y) = r_0 + \alpha t$$

のまわりに独立に正規分布するとすれば、 α および r_0 の最尤値 $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{r}_0$ は次式で表わされる。

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

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

$$\begin{cases} \bar{r} = \sum_{t=1}^n r_t / n \\ \bar{t} = (n+1)/2 \end{cases}$$

ここで t は年, r_t は各年における変量の値である。これによってすべての場合に $\hat{\alpha}$ および $\hat{f}_0$ を求める。ここでは α の信頼度が問題で, この時系列をサンプルと考え, その母集団である確率過程に, 上昇あるいは下降傾向があるかどうかを検定する。いま傾向なしと仮定すると平方和 S は次式で表わされる。

$$S = \sum_{t=1}^n (r_t - \hat{f}_0 - \hat{\alpha}t)^2$$

したがって, 信頼度 $(1-\alpha)100(\%)$ なる α の信頼限界は次のように示される。

$$\hat{\alpha} \pm \sqrt{F'_{n-2}(\alpha)} \sqrt{S/n-2} / \sqrt{\sum_{t=1}^n (t-\bar{t})^2}$$

これから信頼限界 ($\alpha = 0.05$) の上限および下限を求める。なお一定の分散については時系列を 2 つの部分に分け, 両部分の分散を検定して, 厳密ではないが, 上記検定が認められることをあらかじめ確かめておく。

つぎに, 時系列における測定値の独立性を検定するには R.L.ANDERSON の方法, NEUMANN-HART-ANDERSON の方法などが提案されている。この報告では後者の方法によって, 主として基準期間の従属変量の系列相関の有意性で検定した。すなわち, $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n$ の各項の値が同じ平均値 m と分散 σ^2 をもって正規分布 $N(m, \sigma^2)$ に従い, 独立して変動する変数がとった値であるという帰無仮説をたて, これを検定する。すなわち, つぎに示す r を求める。

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

r は Time lag が 1 の系列相関に相当するもので, その分布は左右対称であるから正負とも有意点の絶対値は同じである。これを N-H-A 法の有意点の表に 5% 水準で照合した。

最後に回帰線からの偏差は同じ分散で, 正規分布しているという仮定については, 原因不明の変動は多数の独立な原因に帰因するものであり, その 1 つ 1 つがその結果として生じた偏差の小部分を構成していると仮定することと同じである。このことは単に偏差が正規分布する原因となるばかりでなく, この仮定を考える最も簡単な方法でもある。これを検定するには正規分布するとしたとき, 与えられた領域にはいるものと期待される観測数を推定する方が簡単かつ効果的である。これをその領域内にある数と比較して判断すればよい。すなわち, 測定値の 90% は回帰線のまわりの標準偏差の 1.645 倍, いいかえれば回帰線から標準偏差の 1.645 倍の範囲内にあることが期待される。この測定値数を数えれば実用的には偏差の正規性を確かめうると言えよう。

IV 資 料

IV-1. 試験流域の概要

(i) 上川森林理水試験地北谷流域

北海道上川郡上川町の石狩川水源流域中にある, 試験流域としては大きい, 東西に長く南北に狭い流域で, 流域条件の概要は Table 1, Fig. 2 に示されている。主流の中流部以下は V 字形横断形状をなし, その溪岸山腹は急であるが, 上流部は開析が著しくなく平坦状である。Table 1 に示された土壌の深さは周辺地域における測定からの推定である。年降水量は 1450mm 前後でありあまり多い方ではなく, ほぼ 11 月から 4 月上旬までの間は雪として降る。既往において 1 時間雨量の大きいものは 20~30mm であった。

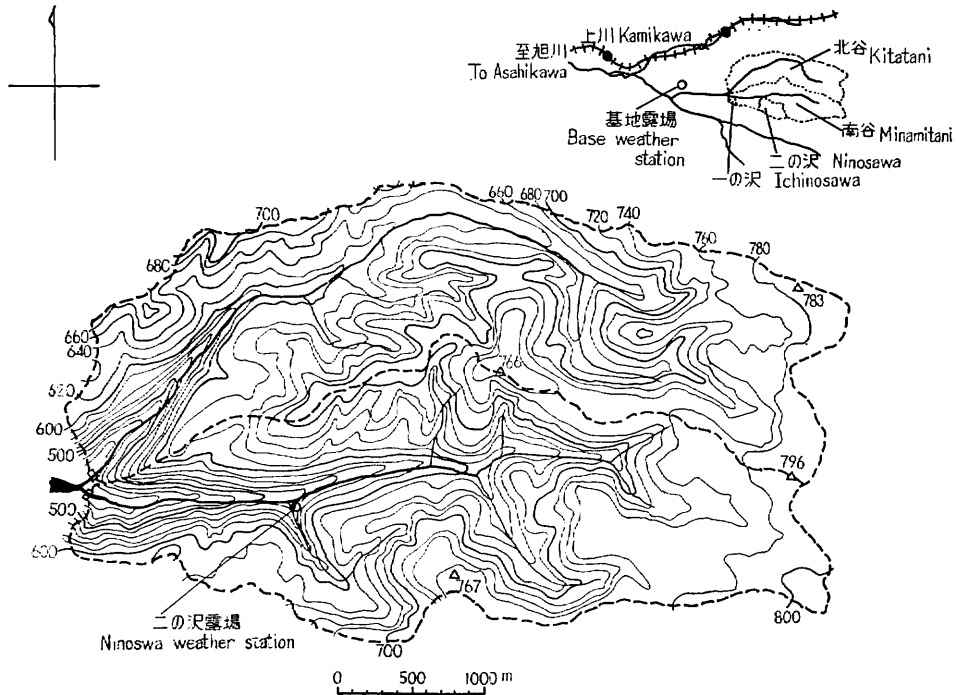


Fig. 2 上川森林理水試験地の位置と試験流域
Location and experimental watersheds of Kamikawa
Experimental Forest.

(ii) 釜淵森林理水試験地 2 号沢流域

山形県最上郡真室川町釜淵の最上川水源流域にある、ほぼ長方形の流域で、流域条件の概要は Table 1, Fig. 3 に示されている。比較的急傾斜で、土壌が浅く（平均50cm）、きわめて小面積であることなどが特徴である。年降水量は2600mm前後で多く、大体12月から3月までの間は雪として降る。既往において1時間雨量の大きいものは30～50mmで、夏期7～9月の間に発生することが多い。

(iii) 宝川森林理水試験地初沢流域

群馬県利根郡水上町藤原字宝川の利根川水源流域にあり、流域条件の概要は Table 1, Fig. 4 に示されている。細長い流域で、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ことなどが特徴である。年降水量は、流域中で常に最少値を示す基地露場において2100mm前後で、集水地全体としては2659mm程度（1938～1947）といわれている¹²⁷⁾。大体11月から4月までの間は雪として降る。既往において1時間雨量の大きいものは、通常7～9月の間に起こり、30～50mmであった。

(iv) 竜の口山森林理水試験地南谷および北谷流域

岡山市祇園にあり、旭川下流部に流入する支沢の水源で、ともにほぼ扇状の流域である。流域条件の概要は Table 1, Fig. 5 に示されている。年降水量は1100mm内外で、降雪・積雪はほとんどない。既往において1時間雨量の大きいものは30～50mmである。

(v) Wagon Wheel Gap 森林理水試験地B流域

米国 Colorado 州 Wagon Wheel Gap 近くの Rio Grande 河水源流域内に設けられた、細長い流域

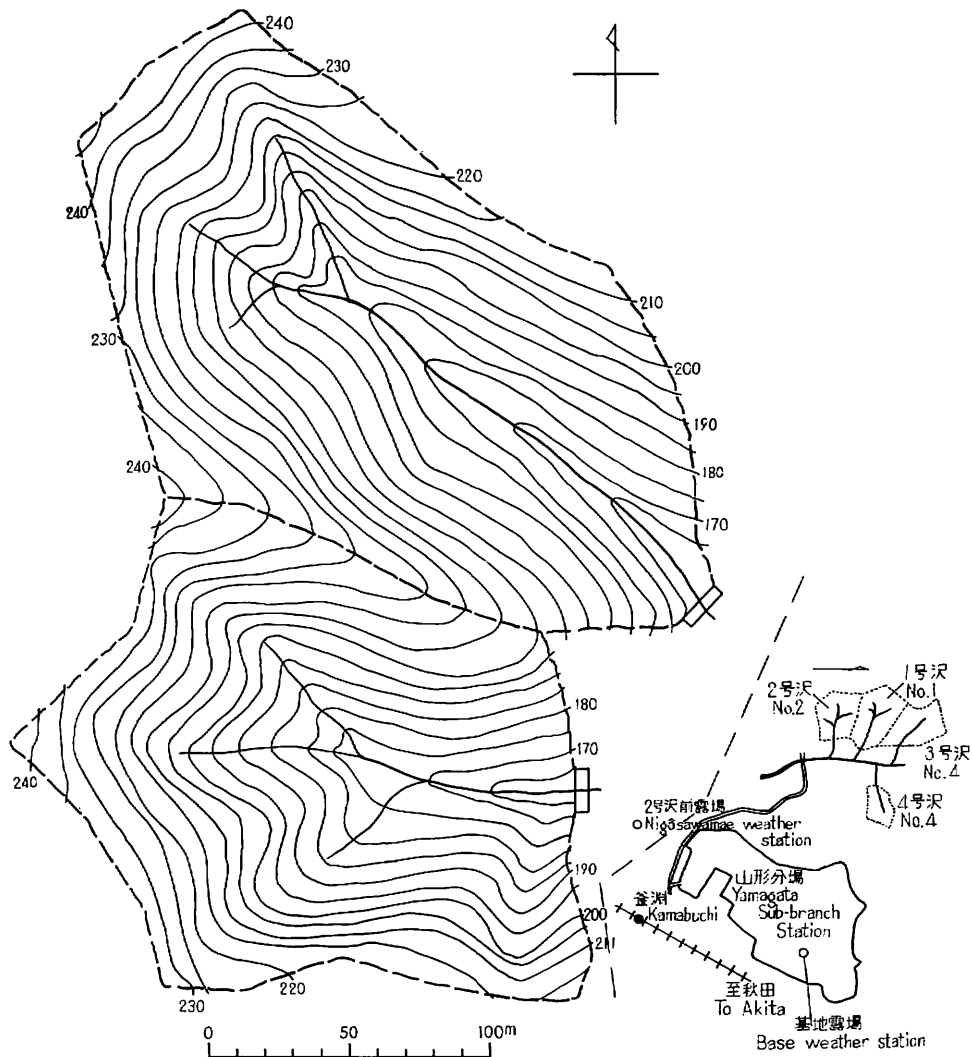


Fig. 3 釜淵森林理水試験地の位置と試験流域
Location and experimental watersheds of Kamabuchi
Experimental Forest.

で、その流域条件の概要は Table 1, Fig. 6 に示されている。平均傾斜は 15° である。年降水量は500mm前後で、そのうちのほぼ10月半ばから3月にかけての間は雪として降る。

IV-2. 森林植生の経年変化

基準期間における森林植生と、処理期間における試験処理および植生・地表状態の要点を各流域別に年をおってみると、以下述べるとおりである。

(i) 上川—北谷

基準期間 (1942 - '43 ~ 1952 - '53 水年)

エゾマツ・トドマツを主とする針葉樹40%弱、ミズナラ・カバ類・シナノキ・カツラなどを主とする広葉樹60%強の混交林であった。



Fig. 4 宝川森林理水試験地の位置と試験流域

Location and experimental watersheds of Takaragawa Experimental Forest.

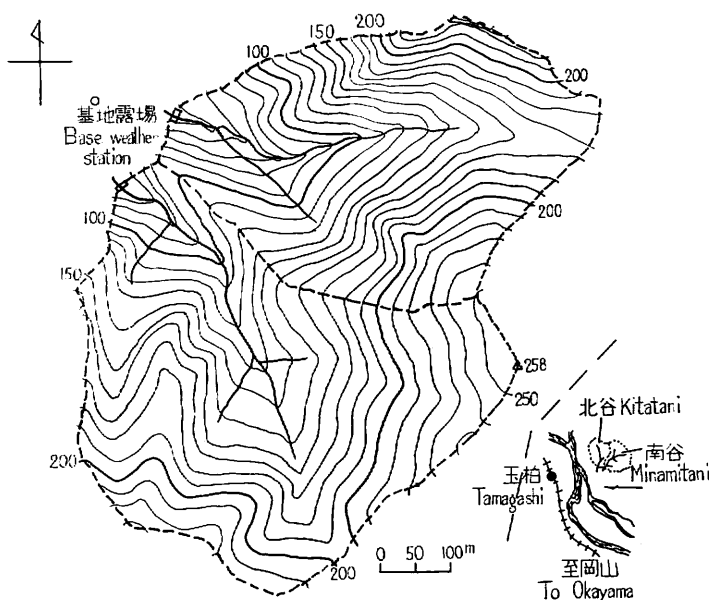


Fig. 5 竜の口山森林理水試験

地の位置と試験流域

Location and experimental watersheds of Tatsunokuchiyama Experimental Forest.

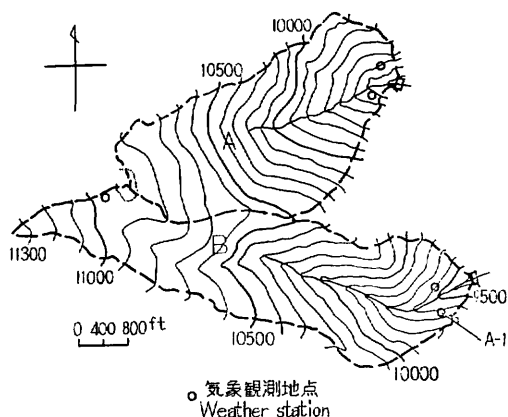


Fig. 6 Wagon Wheel Gap 森林理水試験地の試験流域
Experimental watersheds of Wagon Wheel Gap Experimental Forest.

大約 $400\text{m}^3/\text{ha}$ 内外の蓄積を持つ代表的な亜寒帯天然林で、無立木地の占有面積は1%未満であり、林床は全面にわたりオニシモツケ・ホザキナナカマド・サワアジサイ・クマイザサ・イタドリなどの低木や草本類がみられ、ほぼ完全に地表は植生で被覆されていた。

処理期間 (1953 - '54~1958 - '59 水年)

1953 - '54: この水年の大半は基準期間の森林状態で経過したが、水年の終わる1か月前の1954年9月26日の台風5415号(洞爺丸台風)により、蓄積で90%の林木が風害を受けた。面積では80~90%と推定された。

風害は主として根倒れ(80%)と幹折れ(20%)であった。沢沿いの一部林分(面積10~20

%)が風害を受けずに残った。被害木は放置された。

1954 - '55: 被害木は放置されて経過したが、この水年の終わりの1955年9月から下流流域部分で既設道路に接続する作業道路の敷設が始まり、幅1mのもの4.6km、幅2mのもの4kmが完成し、同時に被害木の伐倒・搬出が開始された。

1955 - '56: 1956年2月までに下流流域部分から約 7600m^3 の林木が整理され、搬出された。1956年9月から上流流域地区にも道路の延長敷設が行なわれ、幅2mのもの3.5km、幅3mのもの2kmが完成された。

1956 - '57: 1957年2月までに上流流域地区より約 11000m^3 の被害木が整理・搬出された。1957年9月より道路敷設が行なわれ、幅1~1.5mのもの6km、幅3mのもの2kmが完成し、同時に下流流域部分の主として沢沿いにあった残存林分中の虫害枯損木の伐倒・搬出が行なわれた。

1957 - '58: 1958年2月までに約 2000m^3 が伐倒・搬出された。

蓄積で風害前の10%前後に相当する林木(17000m^3)がなお残された。

全流域の伐採跡地にはクマイザサ・エゾイチゴその他陰湿性の大型の草本類の繁茂が著しくなってきた。

1958 - '59: まったく放置され、再生樹草の繁茂がいっそう著しくなっていた。

(ii) 釜淵一 号沢

基準期間 (1939 - '40~1946 - '47 水年)

ナラ・ブナなどの広葉樹天然林中に団地状にスギ・ヒノキの人工林分が介在した形の森林で、林床植物は豊富であった。

処理期間 (1947 - '48~1963 - '64 水年)

1947 - '48: この水年の最初の月すなわち1947年12月中にスギ・ヒノキ林分が皆伐され、冬積雪上で搬出された。翌1948年春に残りの広葉樹も皆伐され、製炭された。すべて雪上の作業のため、表土のかく乱や地表植生の減少はみられなかった。

1948-’49～1951-’52：毎年2回（6月と9月）全面に下刈りが行なわれた。刈り取られたものはその場に放置された。連年の下刈りのため、広葉樹の萌芽は少なく、ササその他の草本類やシダなどが地表を被覆した。

1952-’53～1957-’58：毎年1回（4月あるいは5月）火入れが行なわれた。ススキ・ノイバラなどの繁茂が著しくなった。後年に至り、草の被覆がとくに少ないところ、あるいは積雪移動による表土層剥奪のため生じたごく小面積のくぼ地が点在するようになった。また尾根筋以外では伐根はくさったり、あるいは焼失・転落して少なくなった。ただし、1957-’58水年には火入れ後さらに1回全面下刈りが行なわれた。しかし、流域全体としてかつ1年間をとおしてみれば、植被はしだいに厚くなっていった。

なお1955-’56の冬に、2号沢流域の南西に隣接する流域の森林が伐採された。このため冬季の主風方向と直交する流域界の嶺線が無立木地となり、このとき以降少なくともこの論文での検討期間中は2号沢流域の南側嶺線と西側嶺線の西寄り半分では冬季雪の吹き込みの条件が変化したものと考えられる。

1958-’59：自然のまま放置された。ごく小面積の表土層剥奪によるくぼ地は多少増加したが、全体的にはススキ・ノイバラなどの草・低木から成る厚い植被でおおわれてきた。

1959-’60：1960年9月26日～10月5日の間に全域に切取階段工が築設された。階段工は幅0.8m, 1.2m, 1.6mの3種で、階段の面積合計は0.17haとなり、流域面積の7%弱に相当する。切取土砂は斜面下方に捨てられた。階段上にはただちにスギが植栽された。

1960-’61～1963-’64：毎夏植栽木のための保育下刈りが行なわれた以外は自然のままに放置された。しだいに切取りの捨て土砂は植生でおおわれ、階段も植生でおおわれるところが多くなった。

なお後述の説明の便宜のため、水年くぎりでは次の各処理分期を区分した。

- 1947-’48 ：皆伐年
- 1948-’49～1951-’52：下刈期
- 1952-’53～1958-’59：火入期
- 1959-’60～1963-’64：階段工期

(iii) 宝川—初沢

基準期間（1937-’38～1947-’48水年）

ブナを主とする天然林で、ナラ・ヒバ・ヒメコマツなどがこれに混交しており、広葉樹と針葉樹の割合はほぼ8：2で、主要樹種の混交割合は大約ブナ60%、ヒバ18%、ナラ12%、ヒメコマツその他10%であった。

1948年夏の調査では240m³/haくらいの蓄積であった。地床には低木や草本類の繁茂が著しく、嶺筋にごく小面積の露岩地があったほかは、全流域が十分に植生で被覆されていた。

処理期間（1948-’49～1959-’60水年）

1948-’49：1948年10月下旬より下流流域部約19haで大径木約1800m³が伐採された。

1949-’50：全年にわたって中流流域部約38haで約3700m³が伐採された。

1950-’51：全年にわたり上流流域部約28haで約2600m³が伐採された。

1951-’52：下流流域部約33haで、わずか140m³ほどが伐採された。

1952-’53：1953年夏までに前年の区域その他で約3000m³が伐採された。

かくして蓄積で50%の択伐が終了した。搬出は主として木馬で行なわれた。

1953 - '54~1959 - '60: 自然のままに放置された。択伐跡地には逐年樹草が再生し、一部ではとくにササの侵入が著しくなった。

なお次の処理分期を区分した。

1948 - '49~1952 - '53: 択伐期

1953 - '54~1959 - '60: 放置期

(iv) 竜の口山—南谷

基準期間 (1937~1943水年)

老壮齡のアカマツ天然林であった。ただし一部 (約 5 ha) を伐採跡草生地ときわめて不良なヒノキ人工造林地が占めていた。林床には草本類も多かったが、ひろくササの繁茂がめだっていた。1940年ごろからキイロコキクイムシなどによるアカマツの虫害木がみられるようになり、1944年には被害が激しくなったので、当初の試験計画を変え、この年皆伐に着手することとなった。

処理期間 (1944~1964水年)

1944: 秋ごろから約 8 ha のアカマツ老壮齡木の皆伐・搬出が開始された。

1945: 3月までに、前年開始された皆伐・搬出が終了した。ひきつづき約 9 ha のアカマツ老壮齡木の皆伐・搬出が実施された。また、3~6月の間に、伐跡地より、松根油採取のため、松根が掘り取られた。

約 17.6 ha の皆伐・搬出が終了し、一部の既往の伐採跡草生地やほとんど草生地状のヒノキ造林地を含めて全流域に主要な林木はなくなった。

1946~1953: 自然のままに放置され、伐跡地には全体的にササ・コシダ・メダケの侵入が顕著となり、流域の約90%はこれらにおおわれていった。他は蜂筋でいったん裸地となった。

そしてこれらの中に交じって、アカマツ・ネズミサシ・ソヨゴ・コナラ・ヒサカキ・シデ・クヌギなどの稚樹がたっていった。

しかし後年には蜂筋裸地にもアカマツ稚樹やネズミサシ・広葉樹雑木の稚樹がたち、流域上部では低木雑木林が形成されていったが、中腹以下ではほとんどササ・メダケでおおわれた。ヒノキ林はわずか 0.3 ha だけが維持された。

1954: 10月、一部 (約 8 ha) で、植栽のため筋刈地ごしらえが行なわれた。

1955: 3月、前年の地ごしらえ地にヒノキが植栽され、8月にその保育のための筋刈下刈りが行なわれた。同時に11月、他の一部 (約 7 ha) で筋刈地ごしらえが行なわれた。

1956: 3月、前年の地ごしらえ地へヒノキが植栽され、7月にその保育のための筋刈下刈りが行なわれた。また8月に1955年植栽地の保育下刈りが行なわれた。

1957: 2~3月、他の一部 (約 5 ha) で全刈地ごしらえが実施され、ヒノキ・クロマツが植栽された。このときだけ伐採された低木・メダケは搬出された。3月、ヒノキ植栽地全体に保育の筋刈下刈りが行なわれた。7月に5 ha 区的全刈保育下刈りも実施された。

なお1955~1957の間に共通に、ほとんど全域でササと前述の広葉樹雑木類の繁茂が著しくなった。ただ蜂筋の小区域でアカマツ稚樹の生育がよく、下流部のごく一部でメダケの侵入が著しくなった。このような状態の下で、前記の植栽が行なわれた。

1958：放置され、ササ・雑木類の繁茂が維持され、植栽はほとんど不成功のまま経過した。

1959：9月10日、隣接流域から山火事が延焼し、ほぼ全域の植生が焼失した。わずかに0.3haのヒノキ林分だけが残った。1か月以上の晴天つづきの後ササ枯殺のため、ほぼ全域に可燃性の塩素酸ソーダを山火の1週間前に散布していたため火勢ははげしく、落葉層、腐葉層は完全に焼失した。腐植層やササ・シダ類・雑木類の根系は残った。このため10月下旬にはこれらの萌芽が始まった。

1960：3月、クロマツがほぼ全域に植栽され、7月に保育のための筋下刈りが実施された。やはりササ・シダ類の繁茂が著しく、雑木類の混入もかなりみられた。

1961：全域にササの繁茂が著しくなった。しかし、植栽されたクロマツの生育もほぼ良好で樹高0.5～1.0mとなった。7月に保育のための全刈下刈りが行なわれた。

1962：やはりササの繁茂がはげしいが、クロマツの生育もよく、樹高1.0～1.5mとなった。7月に保育のための全刈下刈りが行なわれた。

1963～1964：放置され、ササを主たる下層植生とするクロマツ幼齢林となった。

水年くぎりで、次の処理分期を区分した。

1944～1945：皆伐年

1946～1953：皆伐後放置期

1954～1958：下刈植栽期

1959～1962：山火下刈植栽期

1963～1964：山火後放置期

(v) 竜の口山—北谷

基準期間（1937～1944水年）

天然生アカマツの幼齢林（約6ha）と老壮齢林（約10ha）で、ごく一部（約1ha強）にヒノキの人工林地があった。ヒノキ人工林地も実際にはアカマツなどの侵入がはげしいものであった。南谷同様、下層にはササの繁茂が著しかった。また南谷同様1940年ごろより虫害が発生しはじめ、1945年には被害がはげしくなったので、当初の計画を変えて皆伐することとなった。

処理期間（1945～1964水年）

1945：春からアカマツ老壮齢木の皆伐・搬出が行なわれた。アカマツ幼齢林にも虫害がはげしくなった。

5～6月に伐跡地より松根が掘り取られた。

1946：5～12月、約3haの幼齢林分の皆伐・搬出が行なわれた。9月に残りの幼齢林分の伐採・搬出が開始された。

1947：7月までに幼齢林分の皆伐・搬出が終了した。

以上により、流域内の主要な林木はほとんど除去された。ただ流域下部にごくわずかのヒノキ幼齢木が残された。

1948～1961：自然のままに放置された。このため伐跡地にはササの侵入がめだち、これにアカマツ稚樹やネズミサシ・シデ・コナラ・クヌギ・ソゴ・ヒサカキなどの雑木の稚樹が侵入しはじめた。

後年にはしだいにアカマツ幼齢木を主とし、これに広葉樹雑木をまじえ、下層はササ・ススキなどで構

成される再生林分が成立していった。

1962：10月16～30日の間に、主流などの溪岸の再生林木が伐採除去された。これが実施された溪流の延長は約 550m で、その上流端はほぼ主流の距離の 8 割に相当する地点に達した。兩岸伐採幅は斜面長でそれぞれ 4 m、伐採面積は約 0.4ha（全流域面積の 2.5%）であった。

1963：自然のまま放置された。

1964：10月19～25日、さらに兩岸各 4 m 幅に溪岸林分が追加伐採された。伐採面積約 0.4ha であった。溪岸以外の流域はアカマツ・各種広葉樹でおおわれてきた。

なお水年くぎりでは次の処理分期が区分された。

1945～1947：皆伐年

1948～1954：放置前半期

1955～1961：放置後半期

1962～1964：溪岸伐採期

(vi) Wagon Wheel Gap-B

基準期間（1911 - '12～1917 - '18 水年）

流域の大半は山火跡に再生した未熟林分で、焼け残りの Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia*) と Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) が約 23%（面積の割合）、山火跡地にまず出現する Aspen (*Populus tremuloides*) が約 61% を占め、それに高さ 30cm 以下の草から成る草地約 6%、焼跡地と裸地約 7%、露岩地約 3% を交じえる森林であった。

処理期間（1918 - '19～1925 - '26 水年）

1918 - '19：1919年 7～9 月の間、流路にそった帯状地を除いて全域のすべての木本植物が伐倒あるいは刈り払われた。ごくわずかの Aspen が散在して残った。

1919 - '20：1920年夏期、帯状地の残存林分も伐採された。伐採木のうち大径木は林内を道路までずり出された。このため一部で、地表はかなり荒らされた。9 月に伐採木の枝条・梢頭や、搬出されなかった小径木などは山腹に列状に集積され、焼却された。集積物は十分に焼け、腐植は破壊され、表土が裸出し、点々とはげ地を生じた。集積物が焼かれたすじ状地区以外では、南向斜面では厚い草に Aspen の稚樹の散在する植生型で、北向斜面ではうすく草のおおう植生型で占められた。はげ地の上でさえも、冬期に凍結したとき以外は地表流出水は認められず、侵食もたいしたものではなかった。

1920 - '21～1923 - '24：ほとんど自然のままに放置された。このためしだいに Aspen と草本類から成る植生型ができていった。

1924 - '25：1925 年の夏、80頭のやぎが約 10 週間放牧された。しかし、きわめて一部以外には、地被が荒らされることはほとんどなかった。

1925 - '26：自然のままに放置され、上層を Aspen、下層を各種草本類でおおう植生型が成立した。しかし、Aspen の成長は悪く、樹高 3～6 ft であった。Aspen は流域下流部の中腹以下に密で、尾根筋にかけては少なかった。

IV-3. 流出量

各流域における流出量の測定方法の概要と主要な基礎資料としての月流出量を表示する。

(i) 上川一北谷

溪流を長さ10m, 幅3 m, 深さ1 mのコンクリート水路（溪床勾配水平）で整え, その末端に幅2 m, 深さ1 mのバザン型長方形ノッチをつけて縮流堰が造られた。堰より5 m上流で左岸に井戸が造られ, これに導水され, 自記水位計で水位 (H cm) が記録された。次式により流量 (Q m³/s) が算出され, さらに流量は水高 (mm) に換算された。

$$Q = 3.130 \times 10^{-3} \times H^{1.549}$$

この論文で対象とした期間の月流出量が末尾の Annexed table 1 に示された。

(ii) 釜淵一2号沢

溪流を幅2 m, 奥行3 m, 深さ1.5mの湛水池でくぎり, その下流壁は量水堰となり, 中央に45°で, 高さ50cmのバザン型三角ノッチが取り付けられている。湛水池の上流には3 m³と1.3m³の2個の沈砂槽が設けられた。湛水池の上に水位計室が設けられ, 自記水位計が設置され, 水位 (H cm) が記録された。流量 (Q l/s) は次式で計算され, さらに流量は水高 (mm) で示された。

$$Q = 9.254 \times 10^{-3} \times H^{2.298} \quad H \leq 6$$

$$Q = 6.910 \times 10^{-3} \times H^{2.449} \quad H > 6$$

基準流域である1号沢の流量測定施設および水位流量曲線式も同じである。

本論文で対象とした期間の月流出量は基準流域のそれとともに Annexed table 1 に示された。

(iii) 宝川一初沢

溪流を堤長32.4mの土砂留堰堤でせきとめ, 上流に水面面積200m²の沈砂池を造り, つぎにこの堰堤の下流26.5mのところに堤長30.5m, 高さ5.6mの量水堰堤が設けられた。両堰堤と護岸工がかこむ湛水池は水面面積約630m², 最大湛水容積1700m³である。量水堰堤の中央部には幅1 mのバザン型長方形ノッチ7個がそれぞれ0.8mの間隔をおいて造られており, 高さは中央の1個が1.6m, 他の6個は1.1mである。きよくたんな高水時以外は中央の1個から溢流させる。さらに中央のノッチは幅80, 60, 40, 20cmに変えられるようになっている。ノッチより2.5m上流の湛水池左岸の測定井戸に導水し, これに自記水位計が設置され, 水位 (H cm) が記録された。次の式により流量 (Q m³/s) が計算され, 水高 (mm) で示された。

$$Q = \left(\frac{0.01B + 4.5}{16.44 \log H + 30.56} + 0.3 \right) \sqrt{2g} B H^{3/2}$$

ただし, B はノッチの幅 (cm) で, g は重力の加速度 (cm/s²) である。

基準流域である本流では沈砂池につづく約30mの整流部の下流に長さ40m, 幅14m, 深さ3.5m, 水路床勾配水平, 断面形長方形の直線量水路が設けられ, 量水路下流端より上流5 mの左岸に付設された測定井に導水され, 自記水位計により水位 (H cm) が記録された。次の式により流量 (Q m³/s) が計算され, さらに水高 (mm) に換算された。

$$Q = \left(0.032 - 0.047 \frac{1}{\sqrt{H}} \right) H^{3/2} \quad H \leq 9.1$$

$$Q = \left(0.056 - 0.122 \frac{1}{\sqrt{H}} \right) H^{3/2} \quad H \leq 33.4$$

$$Q = \left(0.049 - 0.080 \frac{1}{\sqrt{H}} \right) H^{3/2} \quad H > 33.4$$

本論文で対象とした期間の月流出量が基準流域とした本流流域のそれとともに Annexed table 1 に示された。

(iv) 竜の口山—南谷および北谷

渓流を長さ15.3m, 高さ5.1m, 上幅1.0m, 水裏法4分の鉄筋コンクリート量水堰堤とこれより上流12mのところへ設けられた高さ3.25m, 長さ13.6mの練積堰堤で, 上流・下流をしめきり, 両堤の間に幅6m, 長さ12m, 容積約265m³(水位1.6mのとき)の湛水池が造られた。量水堰堤の中央に高さ1.6m, 60°のバザン型三角ノッチが取り付けられた。ノッチのすぐ上流右岸で測定井に導水し, 自記水位計により水位(H cm)が記録された。流量(Q l/s)は次式で算出され, さらに水高(mm)で示された。

$$Q = 8.066 \times 10^{-3} \times H^{2.491}$$

以上は南谷・北谷とも共通である。ただし, 北谷の湛水池はわずかに南谷より小さい。

この論文の対象期間の月流出量は Annexed table 1 に示された。

(v) Wagon Wheel Gap-B

渓流を長さ25ft, 上流幅6ft, 下流幅18ft, 深さ4.5ftのコンクリート湛水池の下流端中央に, 60°三角ノッチが取り付けられた。湛水池の上に自記水位計がおかれて, 水位が測定された。流量は米国地質調査所の提案式を用いて計算され, さらに水高(in)で表示された⁹⁾。これを筆者がmm単位に換算したものが基準流域であるA流域のそれとともに Annexed table 1 に示された。

IV-4. 流出因子の説明

(i) 年流出量

ここにいう年流出量は水年間の総流出量である。

水年は各流域ごとに, 次のとおりとした。

上川	: 11月から翌年の10月まで
釜淵	: 12月から翌年の11月まで
宝川	: 11月から翌年の10月まで
竜の口山	: 1月から12月まで

Wagon Wheel Gap: 10月から翌年の9月まで

このように, これら流域に関する既往研究における水年と同じ水年を採用したのは, ここで得られた成果と既往成果との比較を可能にするためである。

しかしながら, 水文学で歴年と異なる水年をとるについては当然その理由があり, また水年をきめるについては考えるべき2~3の点もある。上記の水年はこの点について多少問題があるので, このことを次に項をあらためて述べる。

(ii) 水 年

水文学研究において, 歴年と異なる任意の12か月をまとめて1水年とするのは, とくに統計的研究の便宜のためである。

いま流域の地文条件が変わらないときは, 年降水量と年流出量の関係がいずれの年も同じであるとしたら, たとえば地文条件の変更による年流出量の変化を調べるのに好都合である。ある年の流出量にはその一部にその年以前に降った降水量に由来するものが当然含まれている。この“一部”が年によってはなは

だしく変わらないことが望ましいということである。そこでこのようにするのに最も都合のよい時期で水年をくぎることが考えられる。

これには従来2つの考え方があった。

1つは地上・地中を含めて流域全体としてその中にある水が最も少ない時期（ほぼ低水流量の時期）でくぎれば、この“一部”が最も少なく、したがってその変動も小さいし、かりにそれが年によって変化するとしても問題が小さくてすむと考えられたもので、上川・釜淵・宝川・Wagon Wheel Gapで積雪の始まる前の適宜の時期でくぎり、東京大学愛知演習林・竜の口山で1月でくぎられてきたのはこの例である。野口⁸⁴⁾はこの水年を実用的水年と呼んだ。

他の1つは逆に流域の地層中の毛管水貯留が最も多い時期でくぎると、年降水量と年流出量の関係が最も安定すると考えられたもので、HURSHら⁽⁴³⁾⁽⁴⁵⁾が Hydrologic year と呼んでいるものである。この方が、上記の目的に対して、前者より合理的であることは実証もされている⁸⁴⁾。

しかし一方、水年は統計的研究の便宜のためにくぎられるのであるから、毎年同じくぎり方でなければ意味がない。この点について、実用的水年は歴の上でも都合のよい、かつ一定の時期が選ばれるので問題がないが、Hydrologic year はその内容から必ずしも一定の時期で、常に365日を1年として、しかも歴の上でも便宜な時期でくぎられるとは限らない。そこで実際には適宜調整されることとなり、その特徴は多少減殺されよう。

また植生の流出に及ぼす影響を検討するときは、蒸散・遮断などが重要条件と考えられるが、これらを考えるため水年をさらに植物の生育期間と休眠期間に分けることがある。水年とこれら水文学的季節とのくぎりを一致させると便利である。この点も水年のくぎり方の選択の基準の1つとなろう。

以上のことを考慮して、わが国や米国では4月末か5月始めを境としてくぎるのが良いとする意見がある。

しかし、この論文では前述のように実用的水年をとった。その理由は前記のとおりである。

そこで、少なくとも水年をくぎる中心問題であるところの年降水量と年流出量の関係の安定性について、実用的水年にどの程度の不都合さがあるかを確かめることとした。

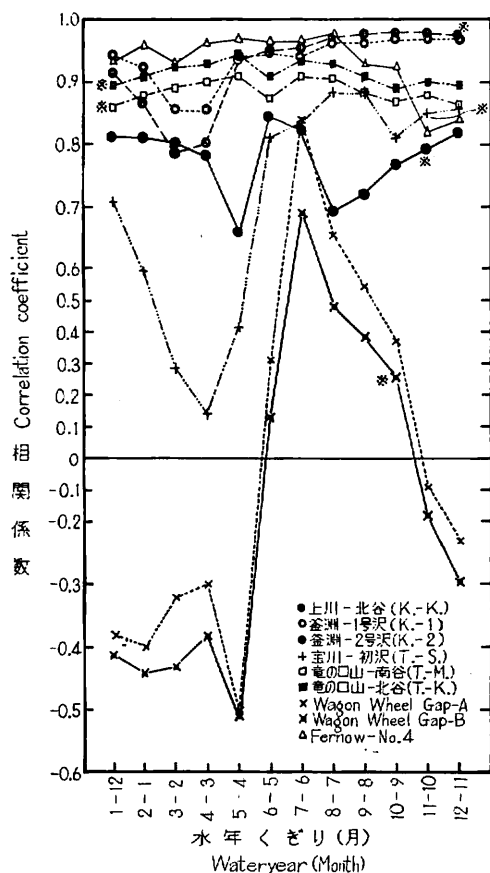
すなわち、前記6流域および参考として釜淵—1号沢、Wagon Wheel Gap-A、Fernow-4の各流域について基準期間の資料で、1月→12月、2月→1月、……、11月→10月、12月→11月の12とおりのくぎり方を行ない、それぞれ総降水量と総流出量の相関を求めたところ、各流域別に Fig. 7 に示すような結果が得られた。

Fig. 7 から上川・宝川・竜の口山の場合はいずれも最良ではないが、著しく不都合とは考えられない。釜淵では最良である。Wagon Wheel Gap では必ずしも良くないが、わが国の5流域についてはまったく不都合とは考えられないので、むしろ従来の中間報告との比較・検討にも便であるよう上述の水年をとることとした。

（Fig. 7 にみられる流域による違いの説明）

流域によって Fig. 7 のような違いを生ずる理由を考える。後述の成果の考察に参考となるからである。

もし降水が大きな時間おくれなしに流出するならば、どの月でくぎっても年降水量と年流出量との相関係数はきわめて1に近いはずである。しかし実際には、地域によってかなり1から離れる場合がある。こ



※ 実用的水年 Practical water year

Fig. 7 各流域における水年くぎり別の年降水量と年流出量との相関係数

Correlation coefficient between annual precipitation and annual runoff for each wateryear divided with 12 ways for 9 watersheds.

これは降水がなんらかの形で流域内に滞留し、流域出口の流出になるには時間のおくれが生ずる、しかもこの事実があるにもかかわらず、一方で機械的に水年をくぎるためである。

このおくれは滞留のしかたによって時間に長短が生ずる。滞留には主として2つの原因が考えられる。積雪と土層中の水分移動である。このほかにも地表のくぼみなどによるものが考えられるが、前2者の方がより重要とみられる。

Wagon Wheel Gap は雪が多く、積雪による流出おくれの影響が大きいことが、冬期間でくぎるときの相関の低さと融雪流出が終わったとみられる7月～6月くぎりまで相関が高くなることで認められる。BATES ら³⁾の記載によれば土壌も比較的深く、秋の土壌水分リチャージの豊富なことによる流出ずれも影響していることが、秋期でのくぎりの相関の低さで推定できる。

上川・宝川でも、冬期くぎりについては同様な傾向が考えられるが、高度が低いため流出のおくれの程度が少ないことが Wagon Wheel Gap との違いの理由として考えられる。しかし、秋期くぎりでは相関が低くならないことは、両流域は Wagon Wheel Gap に比べて土壌が浅く、秋期の土壌水分リチャージが比較的少ないためと考えられる。

釜淵では土壌は浅く、その影響は、従来の諸調査結果から考えても、小さいと考えられるが、こ

のことは秋から冬にかけてのくぎりで、かえって相関が高くなっていることが裏付けている。一方、積雪の影響は強いはずであるが、Fig. 7 でみられるとおり傾向はまったく同じであるが、冬期間くぎりでも相関は前記3流域ほどに低くならない。この理由は、釜淵では積雪期・融雪期にも降雨があることがあり、高度も前記3流域に比べて低いこと、さらに浅い土壌によるわずかの流出ずれが面積の小さいことと重なって、秋の土壌水分リチャージの影響が逆に積雪の影響を打ち消す方向に作用するためと考えられる。

竜の口山・Fernow は雪がないか、あるいはきわめて少雪であるから、冬期間くぎりについては相関が低くならない。しかし、秋から冬にかけての区切りでは相関が低くなる傾向がある。このことは釜淵と比較すれば、土層が厚く、土壌水分リチャージの影響があることを物語っている。

要するに、1月～12月くぎりから5月～4月くぎりまでは積雪と融雪の関係の影響で各流域間に個性の差が現われ、秋から冬にかけてのくぎりでは土壌と、土壌水分リチャージの関係の影響で個性の違いが現

われるものと考えられる。

以上の論議は、後述の伐採による流出の季節変化を考えると重要な参考となる。

上述の流出おくれの理由が除かれる時期は、ここで扱った全流域共通では、7月～6月くぎりである。したがってこのくぎりでは、それぞれの流域の他のくぎりに比べて各流域共通して相関がきわめて高い。しかし、森林水文研究では水年内で妥当な季節区分を考える必要があるから、この点も考えると、無雪地方あるいは積雪地方でも融雪が4月までに終了する地方では5月～4月くぎり、その他の積雪地方では融雪が終了する6月～5月、または7月～6月くぎりが適当となろう。Fig. 7 にみられるように相関の程度からもこのように言えよう。

(iii) 豊水・平水・低水・渇水各流出量

河川調査では河川の1年間の流況を、ある種の日流量の起こる日数に関連して表わすことが行なわれている。すなわち、流況曲線や豊水・平水・低水・渇水各量が定義され、これらが河川の流況を実用的に知るに便利とされている。

そこでこの論文では、このような各種流量が森林によっていかに影響されるかを調べることにした。実際にはこれらを変えて、つぎのような流出因子を定義して解析の対象とした。

すなわち、降水量に対比するのに便利のため水高で示した毎年の日流出量をもって流況曲線をつくり、これを Fig. 8 のように4分割して、それぞれ豊水・平水・低水・渇水各流出量とした。豊水・平水・低水・渇水各量をとらなかった理由は、本論文の場合年間流出量の中で、このような各種の流出部分が変化する割合関係を検討したいためである。

もちろん4種の“流出量”の解析によって上述の4種の“流量”の解析も当然なしうと考えられる。すなわち、ここにとくに示さないが、両者の相関はきわめて高いことを別に確かめてあるからである。

4種の流出量の区分は、4種の“流量”すなわち豊水・平水・低水・渇水各量の各間隔日数を2分割して行なわれている (Fig. 8)。したがって、渇水流出量は流況曲線において日流出量の小さい方から50日分の流出量であり、同様にしてそれぞれ低水流出量はつぎの85日分、平水流出量はそのつぎの90日分、豊水流出量は最後の140 (141) 日分の流出量である。

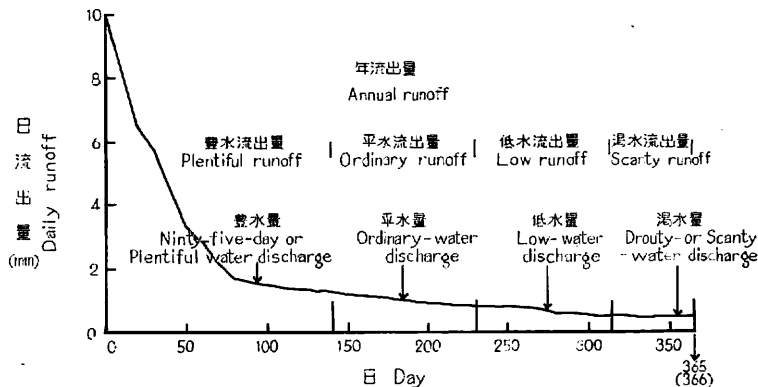


Fig. 8 流況曲線と豊水・平水・低水・渇水各流出量の区分
Flow-duration curve and division of annual runoff into four kinds of runoff.

4種の流出量のおおのの年間総量に対する月別の量の割合(%)の年間分布を、伐採前・伐採後両期間における平均で示したのが Fig. 9・Fig. 10・Fig. 11・Fig. 12 である。

上川・Wagon Wheel Gap は降雪量が降水量の重要部分を占めるため、融雪時に豊水流出量はかなり多いことが知られる。後述する解析ができなかったので宝川一初沢についてはあげなかったが、傾向は同じである。釜淵でもこの傾向はあるが、無降雪期の降雨量も多いため、他の月間にも豊水流出量の分布がかなりみられる。

これらに対して竜の口山では年間の雨量分布に対応し、6～7月の梅雨期に主要部分がある山形の分布となっている。

いずれにしても豊水流出量の年間全体の分布傾向は、年流出量の月別分布のそれによく似た形である。

降雪のある試験地では、豊水流出量の多い月が概して平水流出量の少ない月になっている。ただし、無雪の竜の口山では平水流出量は年間にほぼ均等に分布している。

低水流出量の月別割合は、当然豊水・平水流出量の少ない月に大きくなっている。竜の口山では豊水流出量の山形分布と反対におう(凹)形分布となっている。

渾水流出量も同様な傾向にあるが、降雪地方では降雪期に集中する場合(上川)、春夏期に集中する場合(釜淵)、降雪期・盛夏期の両期に集中する場合(Wagon Wheel Gap)があるが、いずれにしてもある時期にはほとんど集中することが明かである。これに対して無雪の竜の口山では、全般的には低水流出量の場合と同じく春季を底とするおう形分布で、年間各月に分布する。

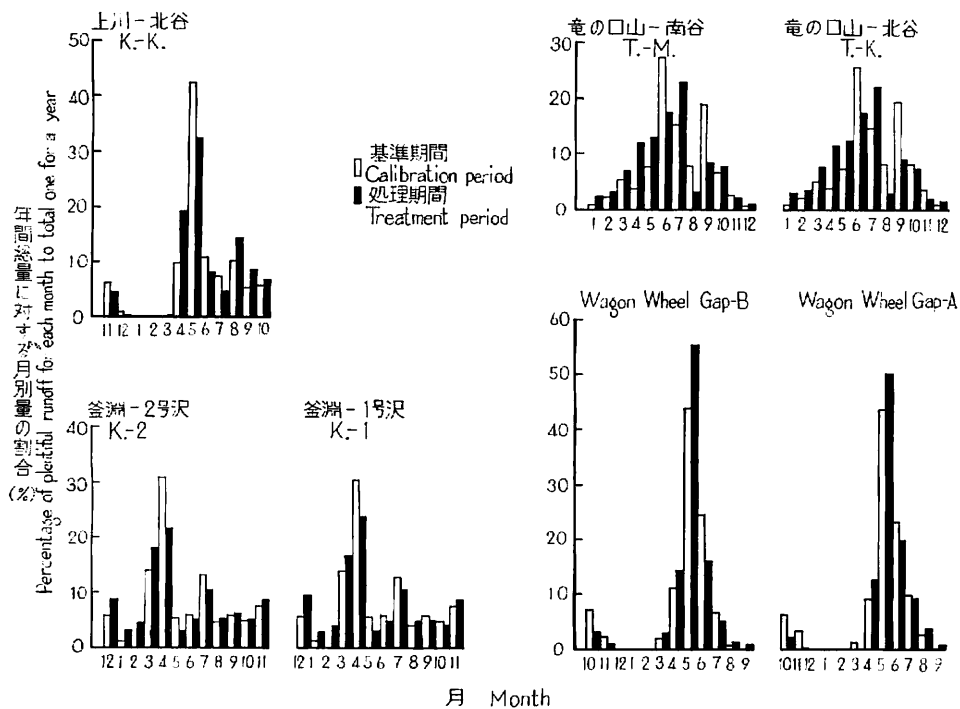


Fig. 9 各流域における豊水流出量の月別分布
Distribution of plentiful runoff by month for each watershed.

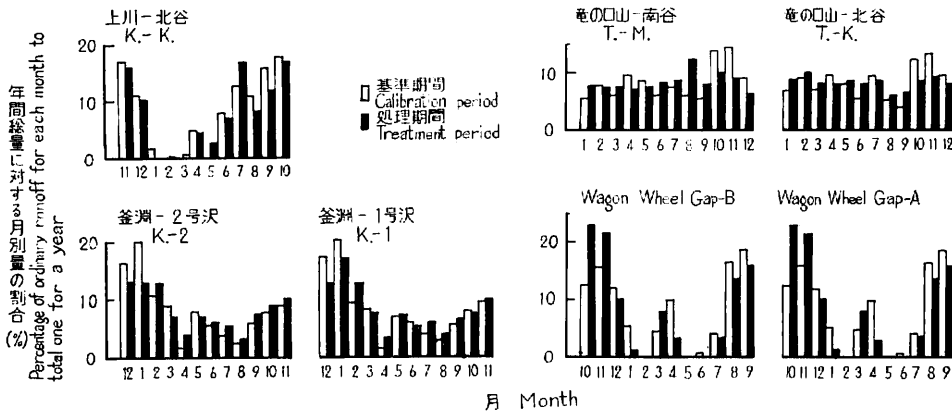


Fig. 10 各流域における平水流出量の月別分布
Distribution of ordinary runoff by month for each watershed.

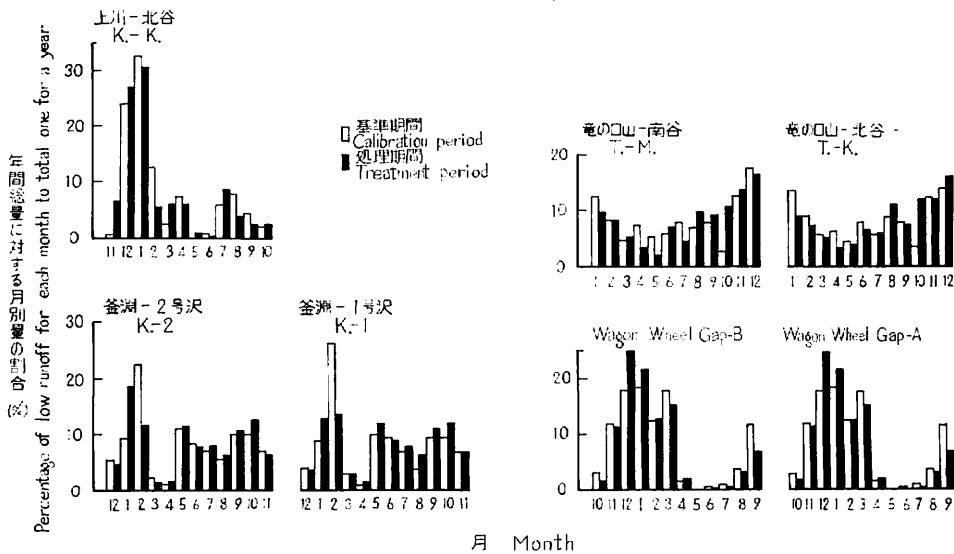


Fig. 11 各流域における低水流出量の月別分布
Distribution of low runoff by month for each watershed.

(iv) 季節流出量

植物の生育活動の活発な期間と不活発な期間，融雪水の流出の多い期間と少ない期間を総合判断して Table 2 に示す期間を区分した。

水文学研究では地下の水分保留状態に着目し，あるいはこれと植物の生育活動とに着目して種々の水文学的季節が区分されるが⁸²⁾，この論文では前述のとおり，植物の生育と融雪水に着目した。したがって，融雪期間というのは浸透流出分を含めて，融雪水が流出の主要部分を占めると考えられる期間である。もちろん，経験的にきめたものである。

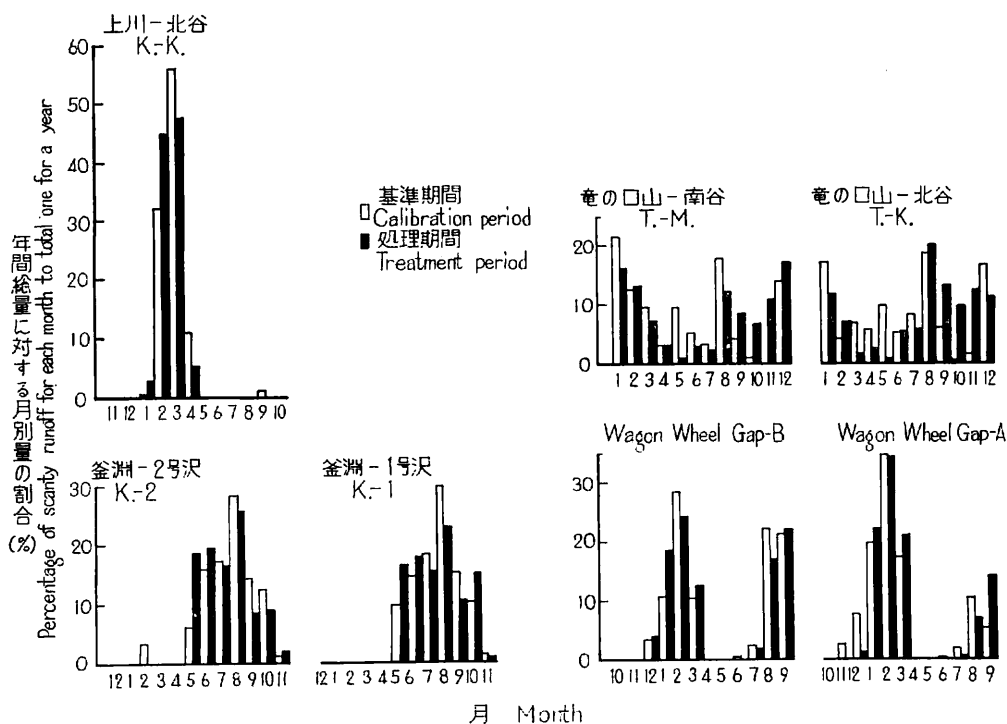


Fig. 12 各流域における渇水流出量の月別分布
Distribution of scanty runoff by month for each watershed.

なお根雪の終わる時期は、上川：4月下旬～5月上旬，釜淵：4月中旬～5月上旬，宝川：4月下旬～5月中旬，Wagon Wheel Gap：5月上旬～5月中旬である。

(v) 増水量および増水ピーク流量

1 降雨による出水ハイドログラフから、基底流量を差し引いたものが増水量である。基底流量の決定方

Table 2. 各流域における季節の月区分
Months included in each season for each watershed

流 域 Watershed	夏 期 Summer season	冬 期 Winter season	
		積 雪 期 Snowdrifting period	融 雪 期 Snowmelting period
	月 Month	月 Month	月 Month
上 川 Kamikawa	6 ~ 10	11 ~ 3	4 ~ 5
釜 淵 Kamabuchi	6 ~ 10	11 ~ 2	3 ~ 5
宝 川 Takaragawa	6 ~ 10	11 ~ 2	3 ~ 5
竜 の 口 山 Tatsunokuchiyama	4 ~ 10	11 ~ 3	
Wagon Wheel Gap	7 ~ 9	10 ~ 3	4 ~ 6

法には種々提案があるが決定的なものはいまだない。そこで、しばしば用いられる簡単な方法をとった。すなわち、Fig. 13・(a) で、A'ACC'をいちおう基底流量とした($h_0=h'_0$)。これをA'ABCC'で囲まれる流量から差し引いたもの(斜線部)を増水量とし、水高(mm)で示した。

実際にはさらに複雑なハイドログラフが多い。たとえば、Fig. 13・(b)に示すものは、ある降雨でABCの増水があり、わずかの時間をおいてふたたび次の降雨があって、CDの増水があった場合である。Cにおける水位が h_0 と相当に異なる場合は、はじめの降雨による増水量を分離することは困難で、2回の降雨の間の時間がきわめて短い場合はABCDEを1つの増水とみなした。さらに増水が完全に減退しないうちに3回目の小降雨があって、Fの増水があった場合も1つの増水のうちとして含めた。そして $h'_0-h_0 \leq 2\text{cm}$ ならば1つの増水として考えることとした。

増水ピーク流量は、Fig. 13で最高水位(B)に相当する瞬間流量(l/s)である。

(vi) 年間流出の一様性

前の項で述べた従来の一様性の表現方法、およびそれらを用いた研究の意義は十分あるが、なお問題もある。

既往の方法は1年間における日あるいは瞬間流出量の平均値からの変動を扱っているが、この意味における一様性が森林その他の手段で改善されれば、もちろん好ましい訳であるが、日本における水利用の現状からすれば日などの短時間の低水流量ではなく、さらに長い期間の低水流量が緩和されることだけでも望ましい訳である。このような考え方で検討は従来なかった。そこで本論文では、この面の検討をすることとした。すなわち、豊水・平水・低水・渇水各流出量の実測値・期待値を用い、年間流出量に対するこれら4種の流出量の比をそれぞれ豊水率・平水率・低水率・渇水率と呼び、これらの各率が伐採後どのように変化するかを検討することとした。

IV-5. 気 象

各流域における気象因子の測定方法の概要を述べ、解析に用いた気象因子の月別値を主要な基礎資料として表示した(Annexed table 2)。

(i) 上川—北谷

基地露場および二の沢露場で測定された。基地露場は試験流域の入口(測水所の位置)より西へ約3 km離れた地点にあり、二の沢露場は測水所の付近にあり、ともに試験期間中同一地点にあった。周囲の地物の影響を除くよう十分な考慮が払われた。

雨量は基地では自記雨量計(チェックのため普通雨量計を併置)で、二の沢露場では初期には普通雨量計、後年には自記雨量計で測定され、1か月用トータライザーでチェックされた。雨量は両露場で初期

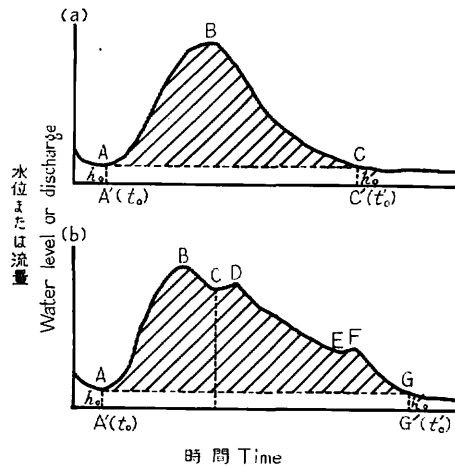


Fig. 13 出水ハイドログラフ上の増水量の区分
Division of quickflow on storm hydrograph.

には SK 式、後年普通雨量計型の雪量計で定時測定された。試験期間中数年にわたり試験流域内に多数の雨量計を置き、またスノーコースを設定し、前記 2 地点の降水量の代表性が検討された。その結果、二の沢露場の測定値が年・月別値ではほぼ満足できるものであることが確かめられた。

日最高・最低気温は基地露場で定時測定された。両者の平均値が日平均気温にあてられた。

日蒸発量は基地露場で定時測定された。

(ii) 釜淵—2 号沢

降水量は 2 号沢測水所付近の露場と 2 号沢測水所より東北へ約 1 km 離れた基地露場で測定された。両露場の位置は試験期間中変わらなかった。雨量は自記雨量計（普通雨量計併置）で測定され、雪量は普通雨量計型の簡易雪量計で定時測定された。試験期間中、数年間にわたり流域内にも自記雨量計が設置され、またスノーサーベイが行なわれ、とくに 2 号沢前露場における測定値の代表性が確かめられた。ただし、2 号沢前露場での測定は 1955 年以降中止され、以後その値は基地露場の値から推定された。

(iii) 宝川—初沢

降水量は初沢測水所付近の基地露場で測定された。その位置は試験期間中変更されなかった。雨量は自記雨量計（普通雨量計併置）で測定され、雪量は普通雨量計型の簡易雪量計で定時測定された。試験期間中数年にわたり、流域内に普通あるいは自記雨量計が設置され、スノーサーベイが行なわれ、基地露場の測定値の代表性がチェックされた。

気温は基地露場で日最高・最低気温が測定され、両者の平均から平均気温が求められた。

(iv) 竜の口山—南谷・北谷

降水量は測水所付近の基地露場において自記雨量計（普通雨量計併置）で測定された。その位置は試験期間中変更されなかった。試験期間中数年にわたり、流域内に普通雨量計多数が設置され、基地露場の測定値の代表性がチェックされた。

気温・蒸発量も測定されたが、試験期間中数年にわたり中断されたため、試験流域より約 4 km 南の岡山地方気象台露場での測定値が用いられた。

(v) Wagon Wheel Gap-B

当初 6 か所に気象観測所が設けられた。A 流域降水量は、A 流域内の山麓部 2 か所の測定値のうちの大きい値と、最高高度地点の測定値の平均があてられた。自記雨量計が用いられた。

平均気温は A 流域内の北向斜面で、A 流域測水所より南西へ 700ft の地点（A-1 地点）で測定されたものが解析に用いられた。

地温は A-1 地点の、12in 深さで測定されたものが解析に用いられた。

V 解析の結果

V-1. 各流出量の期待値の推定式

各流域ごとに、解析目標の各流出因子にきわめて関係の深いと考えられる基準流域の、同種流出因子および気象因子を観測資料から多数選んで整理し、これらの 1 つあるいは 2 つ以上の組合せを独立変量とし、これとの関係を直線回帰関係であるものとして調べた。

その結果、後述の推定回帰式をそれぞれ得た。各式は推計学的に有意であり、当然単あるいは重相関関

係はきわめて高度であり、処理期間における各流出量の期待値はこれら各式を用いて推定することとした。

なおこれらの式を求めた目的は、期待値の推定にあるので、式の意味、とくに採り上げられた独立変量のうち気象因子の式中で占める物理的意義などについては詳細にはふれないこととする。

（1）年流出量

釜淵—2号沢・宝川—初沢・Wagon Wheel Gap-B は基準流域があり、独立変量としてその年流出量が用いられた。

上川—北谷・竜の口山—南谷および北谷には基準流域がないため、Annexed table 2 にあげた降水量その他の気象因子から、適当な独立変量を単独あるいは2以上の組合せで、きわめて多数の試算により選ぶこととされた。もちろん、これらの気象因子は試験期間において、林況変化その他の影響を受けていないと考えられるものである。

なお、基準期間はそれぞれ次のようである。

上川—北谷 : 11水年 (1942-'43~1952-'53)

釜淵—2号沢 : 8水年 (1939-'40~1946-'47)

宝川—初沢 : 11水年 (1937-'38~1947-'48)

竜の口山—南谷 : 7水年 (1937 ~ 1943)

竜の口山—北谷 : 8水年 (1937 ~ 1944)

Wagon Wheel Gap-B : 7水年 (1911-'12~1917-'18)

結局 Table 3 に示す各式が、資料の範囲では最良であることが知られた。

Table 3. 各流域の年流出量の推定回帰式
Prediction equations of annual runoff for each watershed

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川—北 谷 K.-K.	$D = 0.6907P - 185.4$	0.001	0.968
釜 淵—2号 沢 K.-2	$D = 0.9039CD + 252.7$	0.001	0.984
宝 川—初 沢 T.-S.	$D = 0.6269CD - 147.2$	0.001	0.975
竜の口山—南 谷 T.-M.	$D = 0.5125P + 0.1660AP - 104T + 1041.1$	0.01	0.986
竜の口山—北 谷 T.-K.	$D = 0.5715P + 0.1395AP - 84T + 726.7$	0.01	0.987
Wagon Wheel Gap-B	$D = 0.9721CD + 7.7$	0.001	0.996

注) D : 各流域の年流出量 (mm), CD : 各基準流域の年流出量 (mm), P : 各流域代表地点の年降水量 (mm),
 AP : 各流域代表地点の前年降水量 (mm), T : 各流域代表地点の年平均気温 (°C)
 D : annual runoff (mm) for each watershed, CD : annual runoff (mm) for each control watershed,
 P : annual precipitation (mm) at a point near each watershed, AP : antecedent annual precipitation
(mm) at a point near each watershed, T : mean annual temperature(°C) at a place near each watershed.

(ii) 豊水・平水・低水・渇水各流出量

年流出量の場合と同様な解析を行ない、独立変量は次のように選ばれた。

釜淵では基準流域の同種流出因子が用いられた。Wagon Wheel Gap では、豊水流出量のほかは、基

Table 4. 各流域の豊水流出量の推定回帰式
Prediction equations of plentiful runoff for each watershed

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川—北 谷 K.-K.	$D_p = 0.4520P - 88.9$	0.001	0.914
釜 淵—2号 沢 K.-2	$D_p = 0.9172CD_p + 197.7$	0.001	0.990
竜の口山—南 谷 T.-M.	$D_p = 0.4704P + 0.1491AP - 114.7T$ + 1240.6	0.01	0.987
竜の口山—北 谷 T.-K.	$D_p = 0.5360P + 0.1241AP - 94.9T$ + 917.4	0.01	0.986
Wagon Wheel Gap -B	$D_p = 0.9973CD_p - 1.8$	0.001	0.998

注) D_p : 各流域の豊水流出量 (mm), CD_p : 各基準流域の豊水流出量 (mm), P : 各流域代表地点の年降水量 (mm), AP : 各流域代表地点の前年降水量 (mm), T : 各流域代表地点の年平均気温 (°C)
 D_p : plentiful runoff (mm) for each watershed, CD_p : plentiful runoff (mm) for each control watershed, AP : antecedent annual precipitation (mm) at a place near each watershed, T : mean annual temperature (°C) at a place near each watershed.

Table 5. 各流域の平水流出量の推定回帰式
Prediction equations of ordinary runoff for each watershed

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川—北 谷 K.-K.	$D_0 = 0.1606P - 100.2$	0.001	0.943
釜 淵—2号 沢 K.-2	$D_0 = 0.8599CD_0 + 25.6$	0.01	0.901
竜の口山—南 谷 T.-M.	$D_0 = 0.01834P + 0.008919AP - 0.01871$ $E + 6.64$	0.01	0.985
竜の口山—北 谷 T.-K.	$D_0 = 0.01494P + 0.007149AP - 0.01397$ $E + 5.85$	0.05	0.933
Wagon Wheel Gap -B	$D_0 = 0.5286CD_0 - 0.0364p - 1.35t$ + 85.50	0.01	0.975

注) D_0 : 各流域の平水流出量 (mm), CD_0 : 各基準流域の平水流出量 (mm), P : 各流域代表地点の年降水量 (mm), AP : 各流域代表地点の前年降水量 (mm), E : 各流域代表地点の年蒸発量 (mm), p : 代表地点の12~3月期間降水量 (mm), t : 代表地点の7~9月期間平均気温 (°F)
 D_0 : ordinary runoff (mm) for each watershed, CD_0 : ordinary runoff (mm) for each control watershed, P : annual precipitation (mm) at a place near each watershed, AP : antecedent annual precipitation (mm) at a place near each watershed, E : annual evaporation (mm) at a place near each watershed, p : Dec.~Mar. period precipitation (mm) at a place near watershed, t : July~Sept. period mean temperature (°F) at a place near watershed.

Table 6. 各流域の低水流出量の推定回帰式
Prediction equations of low runoff for each watershed.

流域 Watershed	回帰式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川一北 谷 K.-K.	$D_t = 0.0510P + 0.0321AP - 14.295e - 20.05$	0.01	0.907
釜 淵一2号 沢 K.-2	$D_t = 0.8732CD_t + 10.69$	0.001	0.955
竜の口山一南 谷 T.-M.	$D_t = 0.006146AP - 0.01841E + 0.01088p_1 + 14.55$	0.01	0.990
竜の口山一北 谷 T.-K.	$D_t = 0.005972AP - 0.01278E + 0.008812p_1 + 9.70$	0.05	0.957
Wagon Wheel Gap -B	$D_t = 0.6377CD_t - 0.006992P - 0.009673p_2 + 14.77$	0.01	0.979

注) D_t : 各流域の低水流出量(mm), CD_t : 各基準流域の低水流出量(mm), P : 各流域代表地点の年降水量(mm), AP : 各流域代表地点の前年降水量(mm), e : 代表地点の11~4月期間平均日蒸発量(mm), E : 各流域代表地点の年蒸発量(mm), p_1 : 各流域代表地点の4~10月期間降水量(mm), p_2 : 代表地点の7~9月期間降水量(mm)
 D_t : low runoff (mm) for each watershed, CD_t : low runoff (mm) for each control watershed, P : annual precipitation (mm) at a place near each watershed, AP : antecedent annual precipitation (mm) at a place near each watershed, e : mean daily evaporation (mm) for Dec.~Apr. period at a place near watershed, E : annual evaporation (mm) at a place near each watershed, p_1 : Apr.~Oct. period precipitation (mm) at a place near each watershed, p_2 : July~Sept. period precipitation (mm) at a place near watershed.

Table 7. 各流域の渇水流出量の推定回帰式
Prediction equations of scanty runoff for each watershed

流域 Watershed	回帰式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川一北 谷 K.-K.	$D_s = 0.03246p_1 + 0.02069AP - 6.9013e - 5.13$	0.01	0.902
釜 淵一2号 沢 K.-2	$D_s = 1.1954CD_s + 0.60$	0.001	0.953
竜の口山一南 谷 T.-M.	$D_s = 0.004136AP - 0.006674E + 0.004828p_2 + 2.52$	0.05	0.963
竜の口山一北 谷 T.-K.	$D_s = 0.003787AP - 0.006220E + 0.003875p_2 + 3.13$	0.05	0.967
Wagon Wheel Gap -B	$D_s = 0.7981CD_s + 0.01353p_3 - 0.3244gt + 10.50$	0.01	0.995

注) D_s : 各流域の渇水流出量(mm), CD_s : 各基準流域の渇水流出量(mm), AP : 各流域代表地点の前年降水量(mm), p_1 : 代表地点の11~4月期間降水量(mm), e : 代表地点の11~4月期間平均日蒸発量(mm), p_2 : 各流域代表地点の4~10月期間降水量(mm), p_3 : 代表地点の10~3月期間降水量(mm), E : 各流域代表地点の年蒸発量(mm), gt : 代表地点の12in深さの年平均地温(°F)
 D_s : scanty runoff (mm) for each watershed, CD_s : scanty runoff (mm) for each control watershed, AP : antecedent annual precipitation (mm) at a place near each watershed, p_1 : Nov.~Apr. period precipitation at a place near watershed, e : mean daily evaporation (mm) for Nov.~Apr. period at a place near watershed, p_2 : Apr.~Oct. period precipitation (mm) at a place near each watershed, p_3 : Oct.~Mar. period precipitation (mm) at a place near watershed, E : annual evaporation (mm) at a place near each watershed, gt : mean annual soil temperature (°F) at a depth of 12 inches at a place near watershed.

準流域の同種流出因子だけでは回帰の有意性が低いことが知られたので、これに気象因子を組み合わせることとし、多数の試算が行なわれた。

他の 3 流域では単独あるいは組合せ気象因子多数を考え、きわめて多くの試算が行なわれた。

宝川については本流の同種流出量や各種気象因子を探ることが検討されたが、結局十分な回帰式を得られず、解析は断念された。

なお 5 流域とも、基準期間は前記年流出量の場合と同じである。

結局 Table 4・5・6・7 に示す各式が資料の範囲では最良であることが知られた。

(iii) 季節流出量

釜淵・Wagon Wheel Gap ではすべて基準流域の同種流出因子が独立変量に用いられたが、その他の流域では、気象因子または基準流域の同種流出因子と気象因子との組合せ因子が用いられた。

一部に相関係数の小さいものもあるが、きわめて多数の試算の結果、検討の範囲で最良のものとして得られた推定回帰式を Table 8・9・10・11 に示した。

なお、基準期間はそれぞれ次のようである。

(夏期流出量)

上川—北谷	: 11 夏期 (1943・6-10~1953・6-10)
釜淵—2 号沢	: 9 夏期 (1939・6-10~1947・6-10)
宝川—初沢	: 10 夏期 (1938・6-10~1947・6-10)
竜の口山—南谷	: 7 夏期 (1937・4-10~1943・4-10)

Table 8. 各流域の夏期流出量の推定回帰式
Prediction equations of summer season runoff for each watershed

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川—北 谷 K.-K.	$Dg = 0.7360 p_1 + 0.2818 ap + 27.9864e - 514.66$	0.001	0.961
釜 淵—2 号 沢 K.-2	$Dg = 1.0203 CDg + 6.56$	0.001	0.995
宝 川—初 沢 T.-S.	$Dg = 0.1532 CDg + 0.7011 p_1 - 394.87$	0.001	0.964
竜の口山—南 谷 T.-M.	$Dg = 0.5753 p_2 - 322.20$	0.01	0.950
竜の口山—北 谷 T.-K.	$Dg = 0.6114 p_2 - 337.24$	0.001	0.965
Wagon Wheel Gap -B	$Dg = 0.6327 CDg + 7.37$	0.01	0.925

注) Dg : 各流域の夏期流出量(mm), CDg : 各基準流域の夏期流出量(mm), p_1 : 各代表地点の 6~10 月期間降水量(mm), p_2 : 各流域代表地点の 3~10 月期間降水量(mm), ap : 代表地点の先行 11~5 月期間降水量(mm), e : 代表地点の 6~10 月期間平均日蒸発量(mm)

Dg : summer season runoff (mm) for each watershed, CDg : summer season runoff (mm) for each control watershed, p_1 : Jun.~Oct. period precipitation (mm) at a place near each watershed, p_2 : Mar.~Oct. period precipitation (mm) at a place near each watershed, ap : antecedent Nov.~May. period precipitation (mm) at a place near watershed, e : mean daily evaporation (mm) for Jun.~Oct. period at a place near watershed.

Table 9. 各流域の冬期流出量の推定回帰式
Prediction equations of winter season runoff for each watershed

流域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川一北 谷 K.-K.	$D_a = 0.5687p_1 + 93.92$	0.001	0.916
釜 淵一2号沢 K.-2	$D_a = 0.8025CD_a + 300.93$	0.001	0.974
宝 川一初 沢 T.-S.	$D_a = 0.3192CD_a + 0.7909p_1 - 206.16$	0.001	0.931
竜の口山一南谷 T.-M.	$D_a = 0.3165p_2 + 0.04188ap_1 - 51.91$	0.05	0.932
竜の口山一北谷 T.-K.	$D_a = 0.4532p_2 + 0.2663ap_2 - 85.25$	0.05	0.864
Wagon Wheel Gap-B	$D_a = 1.0114CD_a + 3.84$	0.001	0.996

注) D_a : 各流域の冬期流出量(mm), CD_a : 各基準流域の冬期流出量(mm), p_1 : 各代表地点の11~5月期間降水量(mm), p_2 : 各流域代表地点の11~3月期間降水量(mm), ap_1 : 代表地点の先行7~10月期間降水量(mm), ap_2 : 代表地点の先行10月降水量(mm)

D_a : winter season runoff (mm) for each watershed, CD_a : winter season runoff (mm) for each control watershed, p_1 : Nov.~May period precipitation (mm) at a place near each watershed, p_2 : Nov.~Mar. period precipitation (mm) at a place near each watershed, ap_1 : antecedent Jul.~Oct. period precipitation (mm) at a place near watershed, ap_2 : antecedent Oct. precipitation (mm) at a place near watershed.

Table 10. 各流域の積雪期流出量の推定回帰式
Prediction equations of snowdrifting period runoff for each watershed

流域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川一北 谷 K.-K.	$D_{sa} = 0.3846p_1 + 0.2076ap_1 - 0.3513t_1 - 122.28$	0.001	0.994
釜 淵一2号沢 K.-2	$D_{sa} = 0.7957CD_{sa} + 85.88$	0.001	0.931
宝 川一初 沢 T.-S.	$D_{sa} = 0.07974p_2 + 0.1036ap_2 + 21.1096t_2 + 7.39$	0.01	0.946
Wagon Wheel Gap-B	$D_{sa} = 0.9727CD_{sa} + 6.92$	0.001	0.977

注) D_{sa} : 各流域の積雪期流出量(mm), CD_{sa} : 各基準流域の積雪期流出量(mm), p_1 : 代表地点の11~3月期間降水量(mm), p_2 : 代表地点の11~2月期間降水量(mm), ap_1 : 代表地点の先行8~10月期間降水量(mm), ap_2 : 代表地点の先行1~10月期間降水量(mm), t_1 : 代表地点の11~3月期間平均最低気温(°C), t_2 : 代表地点の1~2月平均最高気温(°C)

D_{sa} : snowdrifting period runoff (mm) for each watershed, CD_{sa} : snowdrifting period runoff (mm) for each control watershed, p_1 : Nov.~Mar. period precipitation (mm) at a place near watershed, p_2 : Nov.~Feb. period precipitation (mm) at a place near watershed, ap_1 : antecedent Aug.~Oct. period precipitation (mm) at a place near watershed, ap_2 : antecedent Jan.~Oct. period precipitation (mm) at a place near watershed, t_1 : mean minimum temperature (°C) for Nov.~Mar. period at a place near watershed, t_2 : mean maximum temperature (°C) for Jan.~Feb. period at a place near watershed.

Table 11. 各流域の融雪期流出量の推定回帰式
Prediction equations of snowmelting period runoff for each watershed

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
上 川—北 谷 K.-K.	$D_{sm} = 0.4924p_1 + 35.16$	0.001	0.902
釜 淵—2 号沢 K.-2	$D_{sm} = 0.9137CD_{sm} + 113.0$	0.001	0.982
宝 川—初 沢 T.-S.	$D_{sm} = 0.2696CD_{sm} + 0.9799p_2 - 252.15$	0.001	0.959
Wagon Wheel Gap-B	$D_{sm} = 1.0229CD_{sm} - 2.41$	0.001	0.999

注) D_{sm} : 各流域の融雪期流出量 (mm), CD_{sm} : 各基準流域の融雪期流出量 (mm), p_1 : 代表地点の 11~5 月
期間降水量 (mm), p_2 : 代表地点の 12~4 月期間降水量 (mm)

D_{sm} : snowmelting period runoff (mm) for each watershed, CD_{sm} : snowmelting period runoff (mm)
for each control watershed, p_1 : Nov.~May period precipitation (mm) at a place near watershed,
 p_2 : Dec.~Apr. period precipitation (mm) at a place near Watershed.

竜の口山—北谷 : 8 夏期 (1937・4-10~1944・4-10)

Wagon Wheel Gap-B : 7 夏期 (1912・7-9~1918・7-9)

(冬期流出量)

上川—北谷 : 12 冬期 (1942・11-'43・5~1953・11-'54・5)

釜淵—2 号沢 : 8 冬期 (1939・11-'40・5~1946・11-'47・5)

宝川—初沢 : 11 冬期 (1937・11-'38・5~1947・11-'48・5)

竜の口山—南谷 : 7 冬期 (1937・11-'38・3~1943・11-'44・3)

竜の口山—北谷 : 8 冬期 (1937・11-'38・3~1944・11-'45・3)

Wagon Wheel Gap-B : 8 冬期 (1911・10-'12・6~1918・10-'19・6)

なお積雪期・融雪期については、上記冬期の中を Table 2 で述べた月で区分したものである。

(iv) 月流出量

前記各流出因子についてと同様な多数の試算の結果、検討の範囲で最良のものとして、Table 12 に示す各式を得た。しかし相関係数でわかるように回帰式の精度の低いものもあり、これらの式を用いての解析結果の解釈には注意を払った。

釜淵・Wagon Wheel Gap については基準流域の同月流出量を独立変量としてとり、上川・竜の口山については Annexed table 2 の気象因子の単独あるいは組合せを、また宝川では基準流域の同月流出量と Annexed table 2 の気象因子の組合せ、あるいは単独気象因子を独立変量にとった。ただし、上川の降水量は二の沢露場の値を用いた。なお基準期間はそれぞれ Table 12 の末尾欄に示されている。

(v) 増水量

釜淵—2 号沢・竜の口山—北谷の基準期間についてとられた出水資料数は、それぞれ 93 と 290 である。年別・月別増水量資料数を Table 13 に示した。ただし欠測のため独立変量の資料がない場合 (後述)、あるいはきわめて複雑な増水 (とくに少雨の時) で採用困難な場合などもあり、各年のすべての増水がこの解析に採用されたわけではない。また釜淵では降雨による増水だけを取り上げたため、Table 13 でわかるように 5~11 月期間の資料だけとなっている。

Table 12. 各流域の月流出量の推定回帰式
Prediction equations of monthly runoff for each watershed

月 Month	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient	基 準 期 間 Calibration period
上 川—北 谷 K.-K.				
1	$D_1=0.0154(10-1\text{降})+1.4302(1\text{低気})-13.6685(1\text{平蒸})+47.8407$	0.01	0.866	1943~1954
2	$D_2=0.0618(1\text{降})-6.4103(2\text{平蒸})+1.1867(1\text{低気})+36.7588$	0.001	0.946	"
3	$D_3=0.0121(11-3\text{降})+0.0874(1\text{降})+0.3865(1\text{低気})+13.6121$	0.05	0.839	"
4	$D_4=15.4210(4\text{高気})-0.0283(9-4\text{降})-33.2960$	0.001	0.912	"
5	$D_5=0.5216(2-3\text{降})-18.5181(3\text{高気})-15.3289(4\text{低気})+141.0219$	0.001	0.951	"
6	$D_6=0.2326(5-6\text{降})-6.2320(5\text{高気})+123.6677$	0.001	0.929	"
7	$D_7=0.2370(7\text{降})+0.3101(4\text{降})-13.7656(7\text{日蒸})+55.9792$	0.001	0.928	"
8	$D_8=0.4525(8\text{降})+0.3142(6-7\text{降})-85.9234$	0.001	0.968	"
9	$D_9=0.3406(9\text{降})+0.1116(7-8\text{降})-6.4099(9\text{低気})+13.4500$	0.01	0.912	1943~1953
10	$D_{10}=0.3348(10\text{降})+0.0910(7-9\text{降})-36.0573$	0.001	0.959	"
11	$D_{11}=0.1156(8-11\text{降})-6.4248(10\text{高気})+0.1599(9\text{低気})+65.0550$	0.20	0.793	"
12	$D_{12}=0.0396(7-12\text{降})+1.6983(11\text{低気})+9.0373$	0.01	0.892	"
釜 淵—2号沢 K.-2.				
1	$D_1=0.9003(1\text{流})+6.3508$	0.001	0.988	1939~1947
2	$D_2=0.9348(")+3.9679$	0.01	0.844	"
3	$D_3=1.1241(")-24.8486$	0.001	0.983	"
4	$D_4=0.9894(")+29.1777$	0.001	0.993	"
5	$D_5=0.8743(")+13.0690$	0.001	0.989	"
6	$D_6=1.0227(")-0.3594$	0.001	0.998	"
7	$D_7=1.0114(")+1.1422$	0.001	0.999	"
8	$D_8=1.0363(")+1.7185$	0.001	0.999	"
9	$D_9=1.0084(")+4.5869$	0.001	0.992	"
10	$D_{10}=0.9179(")+11.6007$	0.001	0.990	"
11	$D_{11}=0.9680(")+ 8.0149$	0.001	0.989	"
12	$D_{12}=1.0899(")- 8.2838$	0.01	0.912	1939~1946

森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響 (中野)

Table 12. (つづき) (Continued)

月 Month	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient	基 準 期 間 Calibration period
宝 川—初 沢 T.-S.				
1	$D_1=3.4211(\text{本流})+5.9715(1 \text{ 高気})-39.1933$	0.01	0.862	1938~1948
2	$D_2=4.4585(\text{ " })+5.4601(1-2 \text{ 低気})+9.6743$	0.05	0.790	"
3	$D_3=2.0670(\text{ " })+35.2289$	0.001	0.977	"
4	$D_4=0.5031(12-4 \text{ 降})+0.3013(\text{前降})-597.2700$	0.001	0.947	"
5	$D_5=0.9197(\text{本流})-522.2593$	0.001	0.924	"
6	$D_6=0.0561(\text{ " })-63.3978(6-10 \text{ 平気})+1170.7479$	0.001	0.956	"
7	$D_7=0.3187(\text{ " })+0.3623(7 \text{ 降})-53.4793$	0.001	0.947	"
8	$D_8=0.4371(\text{ " })-7.1018$	0.001	0.939	"
9	$D_9=0.9140(\text{ " })-65.6438$	0.001	0.986	"
10	$D_{10}=0.6646(\text{ " })-28.3368$	0.001	0.978	1938~1947
11	$D_{11}=0.2086(6-10 \text{ 先降})-23.9583(11-5 \text{ 高気})+49.5538$	0.01	0.914	"
12	$D_{12}=1.3090(\text{翌 } 1-2 \text{ 本流})+6.0004(12 \text{ 低気})+5.3523(11-5 \text{ 平気})+33.0600$	0.20	0.774	"
竜の口山—南 谷 T.-M.				
1	$D_1=0.0773(1 \text{ 降})+0.0336(11-12 \text{ 先降})-0.0791(1 \text{ 蒸})+4.4547$	0.05	0.983	1938~1944
2	$D_2=0.0610(12-2 \text{ 降})+0.0632(2 \text{ 蒸})-3.3981$	0.05	0.899	"
3	$D_3=0.4722(3 \text{ 降})-20.5611$	0.05	0.949	"
4	$D_4=0.09928(4 \text{ 降})+0.4843(2 \text{ 蒸})-0.1435(10-2 \text{ 降})+18.4600$	0.05	0.910	1937~1943
5	$D_5=0.2673(5 \text{ 降})-6.8265$	0.01	0.935	"
6	$D_6=0.4290(4-6 \text{ 降})-91.2311$	0.01	0.944	"
7	$D_7=0.4731(7 \text{ 降})-13.6585$	0.01	0.938	"
8	$D_8=0.2607(8 \text{ 降})+0.08218(5-7 \text{ 降})-48.2600$	0.05	0.885	"
9	$D_9=0.4131(9 \text{ 降})+0.08830(7-8 \text{ 降})-41.6385$	0.05	0.936	"
10	$D_{10}=-0.0167(9 \text{ 降})-0.5463(9 \text{ 蒸})+89.6338$	0.05	0.902	"
11	$D_{11}=0.2289(11 \text{ 降})-0.7705(11 \text{ 蒸})+41.6312$	0.05	0.898	"
12	$D_{12}=0.0720(11-12 \text{ 降})-0.3979(12 \text{ 蒸})+19.6058$	0.05	0.924	"

竜の口山—北 谷
T.-K.

1	$D_1=0.0791(1\text{降})+0.0330(11-12\text{降})-0.0690(1\text{蒸})+3.5046$	0.05	0.931	1938~1945
2	$D_2=0.0530(12-2\text{降})+0.0137(11\text{降})+0.0499(2\text{蒸})-2.9309$	0.05	0.935	"
3	$D_3=0.4164(3\text{降})-0.1210(1-2\text{降})+0.1587(10-12\text{先降})-35.7532$	0.05	0.919	"
4	$D_4=0.3648(4\text{降})+0.1373(2-4\text{蒸})-0.0422(10-12\text{先降})-40.0160$	0.05	0.930	1937~1944
5	$D_5=0.2863(5\text{降})-9.2882$	0.001	0.943	"
6	$D_6=0.4338(4-6\text{降})-87.4257$	0.001	0.964	"
7	$D_7=0.5290(7\text{降})-15.9633$	0.001	0.960	"
8	$D_8=0.2846(8\text{降})+0.03608(4-7\text{降})-30.6900$	0.05	0.875	"
9	$D_9=0.4757(9\text{降})+0.1089(7-8\text{降})-52.9649$	0.01	0.949	"
10	$D_{10}=0.0691(8-10\text{降})-0.5963(9\text{蒸})-0.1673(6\text{降})+100.0470$	0.05	0.948	"
11	$D_{11}=0.3250(11\text{降})+0.0497(9-10\text{降})-0.4049(10-11\text{蒸})+33.8365$	0.05	0.956	"
12	$D_{12}=0.0742(11-12\text{降})-0.3370(12\text{蒸})+16.1737$	0.05	0.926	"

Wagon Wheel Gap-B

1	$D_1=0.8622(A\text{流})+1.9964$	0.05	0.832	1912~1919
2	$D_2=1.0363(\text{ " })+0.9504$	0.05	0.823	"
3	$D_3=0.6882(\text{ " })+3.1189$	0.01	0.846	"
4	$D_4=0.5690(\text{ " })+4.7885$	0.01	0.896	"
5	$D_5=0.9119(\text{ " })+4.4311$	0.01	0.989	"
6	$D_6=1.2261(\text{ " })-4.7274$	0.001	0.993	"
7	$D_7=0.6520(\text{ " })+2.3781$	0.01	0.947	1912~1918
8	$D_8=0.6384(\text{ " })+2.1819$	0.01	0.927	"
9	$D_9=0.6955(\text{ " })+2.0737$	0.05	0.808	"
10	$D_{10}=1.1151(\text{ " })-0.4580$	0.001	0.980	1911~1918
11	$D_{11}=0.7939(\text{ " })+2.3031$	0.001	0.956	"
12	$D_{12}=0.6973(\text{ " })+3.0478$	0.01	0.855	"

注) (10-1降)は10~1月期間降水量(mm), (1低気)は1月平均最低気温(°C), (1流)は1号沢の同月流出量を意味する。他のものもすべてこれに準じている。

10-1降 stands for Oct.~Jan. period precipitation (mm), 1低気 mean minimum temperature (°C) for Jan. and 1流 monthly runoff (mm) for Jan. for No. 1 watershed as a control one respectively. This correspondingly applies to the other cases with the following symbols; 平蒸: mean monthly evaporation (mm), 高温: maximum temperature, 日蒸: mean daily evaporation, 本流: monthly runoff for Honryû watershed as a control one, 前降: antecedent annual precipitation, 平気: mean temperature, 先降: antecedent precipitation, 翌1-2本流: next Jan.~Feb. period runoff for Honryû watershed, 蒸: monthly evaporation, A流: monthly runoff for A watershed as a control one.

Table 13. 釜淵—2号沢・竜の口山—北谷両流域の基準期間における増水量資料数
Number of data of quickflow for calibration period for K.-2 and T.-K.

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計 Total
年 Year													
釜 淵—2号沢 K.-2													
1939					—	—	—	—	2	3	1		6
1940					—	—	5	3	3	3	1		15
1941					3	4	6	4	4	1	1		23
1942					1	2	6	2	4	2	1		18
1943					0	2	1	2	3	3	—		11
1944					—	—	—	—	—	—	—		—
1945					—	4	3	2	3	2	3		17
1946					—	—	1	2	—	—	—		3
1947					—	—	—	—	—	—	—		—
計 Total					4	12	22	15	19	14	7		93
竜の口山—北 谷 T.-K.													
1937	3	2	2	3	3	4	3	1	4	4	2	2	33
1938	1	2	5	5	6	3	3	4	2	3	1	3	38
1939	—	—	1	4	2	4	1	2	3	3	3	0	23
1940	0	2	5	6	2	5	—	6	4	4	3	1	38
1941	4	1	4	4	5	4	7	3	2	3	4	4	45
1942	0	2	6	7	5	8	1	5	5	3	1	0	43
1943	2	2	4	6	3	4	5	—	7	3	2	2	40
1944	2	1	2	4	2	1	1	4	6	4	2	1	30
計 Total	12	12	29	39	28	33	21	25	33	27	18	13	290

独立変量は増水に関連が深く、かつ森林処理に影響されない測定値とし、つぎの9種の降雨因子をまず考えた。

一連続雨量、1時間および30分間最大雨量、先行10日・7日・4日・3日・2日・1日間各雨量。

このうち1時間・30分間最大雨量は雨量自記紙から読み取られた。また先行雨量は、増水開始時から24時間ごとの雨量を自記紙で読み取り、合算したものである。釜淵では基準流域の増水量を独立変量とすることができるが⁽¹²¹⁾、あえてこれをとらなかったのは雨量と増水量の関係を同時に検討するためである。

増水量と上記降雨因子の単独あるいは組合せの間には線型回帰関係があるものとして両者の関係を多数の試算により調べた。その結果、Table 14 に示す各式が資料の範囲での最良のものとして得られた。

Table 15 にこの回帰解析に用いられた増水量と、独立変量の3種類の雨量因子の階級別度数分布を示した。この表から資料の全体的傾向がうかがえる。

なおこれらの回帰関係は、直線回帰式よりも曲線回帰式の方が多少適合が良いようである⁽¹¹⁰⁾⁽¹¹¹⁾⁽¹²¹⁾⁽¹²⁷⁾（白井によれば相関係数が0.16前後大きくなる）が、結果に大きな影響はないと判断されたので、簡単な方を選んだ。また独立変量の数をさらに増しても、回帰関係はあまり改善されなかったので、処理期間における増水量の期待値はこれらの式で推定することとした。

(vi) 増水ピーク流量

釜淵—2号沢・竜の口山—北谷の、前項で増水量をとりあげた出水について、資料をとりあげた。したがって、年別・月別資料数は Table 13 に同じである。

独立変量も前述の9種類の降雨因子の中から単独、あるいは組合せにより選ぶこととした。ただし、1

Table 14. 釜淵一2号沢・竜の口山一北谷両流域の増水量の推定回帰式
Prediction equations of quickflow for K.-2 and T.-K.

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
釜 淵一2号沢 K.-2	$r = 0.6979p - 8.835$	0.001	0.972
竜の口山一北谷 T.-K.	$r = 0.4747p + 0.0612ap_7 - 0.3724ap_1 - 7.020$	0.001	0.881

注) r : 増水量 (mm), p : 一連続雨量 (mm), ap_7 : 先行7日間雨量 (mm), ap_1 : 先行1日間雨量 (mm)。
 r : quickflow (mm), p : amount of a storm (mm), ap_7 : antecedent 7-day period precipitation (mm),
 ap_1 : antecedent 1-day precipitation (mm)。

Table 15. 回帰解析に用いられた増水量と関連降雨因子の階級別度数分布
Frequency distribution of quickflows and corresponding rainfall factors used in regression analyses by magnitude classes

増 水 量 Quickflow		一 連 続 雨 量 Amount of a storm		先 行 7 日 間 雨 量 Antecedent 7-day period precipitation		先 行 1 日 間 雨 量 Antecedent 1-day precipitation	
階 級 Class mm	度 数 Frequency	階 級 Class mm	度 数 Frequency	階 級 Class mm	度 数 Frequency	階 級 Class mm	度 数 Frequency
釜 淵一2号沢 K.-2							
0~10	46	0~10	3				
10~20	11	10~20	23				
20~30	8	20~30	20				
30~40	8	30~40	8				
40~50	5	40~60	13				
50~60	7	60~80	10				
60~80	3	80~100	9				
80~100	0	100~150	3				
100~150	2	150~200	1				
150~200	2	200~300	2				
200~250	1	300~400	1				
竜の口山一北 谷 T.-K.							
0~0.5	142	0~10	96	0~5	109	0~0.5	242
0.5~1	30	10~20	79	5~10	36	0.5~1	13
1~3	28	20~30	39	10~20	64	1~2	6
3~5	32	30~40	22	20~40	44	2~5	17
5~10	14	40~60	27	40~60	18	5~10	7
10~20	19	60~80	9	60~80	5	10~15	2
20~40	13	80~100	4	80~100	4	15~20	1
40~60	3	100~150	12	100~150	8	20~25	1
60~100	8	150~200	2	150~200	1	25~30	0
100~140	1			200~250	1	30~40	1

時間・30分間最大雨量は全増水期間に対応する降雨のうちから、最大のものをとった。

増水ピーク流量とこれら降雨の単独あるいは組合せ因子の間には、線型回帰関係があるものとして両者の関係を多数の試算により検討した。やはり増水量の場合と同様の理由で、釜淵についても基準流域のピーク流量を独立変量にとることはしなかった。

Table 16 に示す各式が、検討の範囲での最良のものとして得られた。増水ピーク流量と降水との関

Table 16. 釜淵—2号沢・竜の口山—北谷両流域の増水ピーク流量の推定回帰式
Prediction equations of peak discharge for K.-2 and T.-K.

流 域 Watershed	回 帰 式 Regression equation	回帰の有意性 Significance of regression	単(重)相関係数 Simple or multiple correlation coefficient
釜 淵—2号沢 K.-2	$q = 0.1892p + 2.657p_h - 1.597p_m - 9.203$	0.001	0.917
竜の口山—北谷 T.-K.	$q = 1.710p + 1.877p_m + 0.5841ap_4 - 35.04$	0.001	0.817

注) q : 増水ピーク流量 (l/s), p : 一連統雨量 (mm), p_h : 1時間最大雨量 (mm/h), p_m : 30分間最大雨量 (mm/30min.), ap_4 : 先行4日間雨量 (mm)

q : peak discharge (l/s), p : amount of a storm (mm), p_h : maximum 1 hour rainfall (mm/h), p_m : maximum 30 minute rainfall (mm/30min.), ap_4 : antecedent 4-day period precipitation (mm)

Table 17. 回帰解析に用いられた増水ピーク流量と関連降雨因子の階級別度数分布
Frequency distribution of peak discharges and corresponding rainfall factors used in regression analyses by magnitude classes

増水ピーク流量 Peak discharge		1時間最大雨量 Maximum 1 hour rainfall		30分間最大雨量 Maximum 30 minute rainfall		先行4日間雨量 Antecedent 4-day period precipitation	
階 級 Class l/s	度 数 Frequency	階 級 Class mm/h	度 数 Frequency	階 級 Class mm/30min.	度 数 Frequency	階 級 Class mm	度 数 Frequency
釜 淵—2号沢 K.-2							
0~10	56	0~5	21	0~2	3		
10~20	18	5~10	46	2~4	27		
20~30	8	10~15	16	4~6	26		
30~40	2	15~20	4	6~8	18		
40~50	4	20~25	4	8~10	8		
50~60	0	25~30	1	10~15	7		
60~70	3	30~35	0	15~20	1		
70~80	1	35~40	0	20~30	2		
80~90	0	40~45	0	30~40	0		
90~100	0	45~50	0	40~50	1		
100~120	1	50~55	1				
竜の口山—北 谷 T.-K.							
0~5	194			0~5	208	0~0.5	127
5~10	32			5~10	56	0.5~1	18
10~20	16			10~15	16	1~2	23
20~40	13			15~20	5	2~5	28
40~60	12			20~25	3	5~10	24
60~100	7			25~30	1	10~20	35
100~150	4			30~35	0	20~40	15
150~200	3			35~40	0	40~60	14
200~400	7			40~45	0	60~100	4
400~600	2			45~50	1	100~150	2

係も曲線関係の方が多少適合が良いようであるが¹²¹⁾、増水量の場合と同様、結果に大差がないと判断して簡単な方を選んだ。

用いた増水ピーク流量と独立変量とした1時間最大雨量・30分間最大雨量・先行4日間雨量の階級別度数分布は Table 17 に示された。ただし一連続雨量は Table 15 と同じである。

V-2. 処理期間における流出量の変化

前掲の推定回帰式に処理期間における関連独立変量を適用して、処理期間においても森林が処理されなかった場合の前記各種流出量の期待値を推定し、実測流出量との差を求めた。ついでこれらの差の推計学的有意性を確かめた。

Table 18. 処理期間における年流出量・年流出率の変化
Changes in annual runoff and annual runoff coefficient for treatment period

水 年 Wateryear	年 流 出 量 Annual runoff			確 率* Probability	年 流 出 率 Annual runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	变 化 Change mm	变 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	变 化 Change %
上川—北谷 K.-K.						
1953-'54	828.5	40.8	4.9	0.3	56.4	2.8
1954-'55	1109.0	98.6	8.9	0.05	59.2	5.2
1955-'56	805.0	268.2	33.3	0.001	56.1	18.7
1956-'57	760.8	175.1	23.0	0.001	55.5	12.8
1957-'58	775.3	225.3	29.1	0.001	55.7	16.2
1958-'59	747.7	103.2	13.8	0.02	55.3	7.7
釜淵—2号沢 K.-2						
1947-'48	1971.9	89.9	4.5	0.4	76.7	3.5
1948-'49	1747.8	95.2	5.4	0.4	79.7	4.4
1949-'50	1695.4	36.4	2.2	0.8	78.9	1.7
1950-'51	1615.8	31.2	1.9	0.8	75.3	1.4
1951-'52	1971.9	158.1	8.0	0.2	77.5	6.2
1952-'53	2127.4	211.6	10.0	0.1	77.5	7.8
1953-'54	1418.8	38.2	2.7	0.8	69.7	1.9
1954-'55	2109.4	175.6	8.3	0.2	71.7	6.0
1955-'56	2077.7	217.3	10.4	0.1	73.1	7.6
1956-'57	2020.8	127.2	6.3	0.3	77.9	4.9
1957-'58	2234.1	161.9	7.3	0.2	76.9	5.6
1958-'59	2199.7	67.3	3.0	0.6	73.8	2.2
1959-'60	1864.4	171.6	9.2	0.2	74.9	6.9
1960-'61	2372.4	257.6	10.9	0.05	79.4	8.6
1961-'62	2134.7	252.3	11.8	0.05	76.3	9.0
1962-'63	2481.8	233.2	9.4	0.1	87.5	8.2
1963-'64	2292.8	174.2	7.6	0.2	83.7	6.4
宝川—初沢 T.-S.						
1948-'49	1636.3	119.7	7.3	0.2	75.9	5.5
1949-'50	1838.8	76.2	4.1	0.4	79.0	3.2
1950-'51	1282.1	151.9	11.8	0.1	72.7	8.6
1951-'52	1756.7	106.3	6.0	0.2	77.8	4.7
1952-'53	1673.9	161.1	9.6	0.05	79.3	7.6
1953-'54	1363.0	79.0	5.8	0.4	67.5	4.0
1954-'55	1480.9	276.1	18.6	0.01	67.8	12.6
1955-'56	1521.6	152.4	10.0	0.1	73.7	7.4
1956-'57	1626.9	194.5	12.0	0.05	84.0	10.1
1957-'58	1610.6	209.4	13.0	0.02	73.1	9.5
1958-'59	1551.1	234.9	15.1	0.01	71.7	10.9
1959-'60	1552.3	131.7	8.5	0.1	86.1	7.3

Table 18. (つづき) (Continued)

水 年 Wateryear	年 流 出 量 Annual runoff			確 率* Probability	年 流 出 率 Annual runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
竜の口山—南谷 T.-M.						
1944	169.2	-30.2	-17.8	0.6	20.3	-3.6
1945	456.9	209.7	45.9	0.05	32.1	14.7
1946	455.6	43.4	9.5	0.5	33.7	3.2
1947	314.1	-45.6	-14.5	0.7	34.3	-5.0
1948	261.9	45.4	17.3	0.5	21.9	3.7
1949	452.0	38.1	8.4	0.6	33.8	2.9
1950	381.2	-0.5	-0.1	—	30.9	-0.1
1951	403.8	64.9	16.1	0.4	33.3	5.4
1952	496.6	31.4	6.3	0.6	35.0	2.2
1953	553.1	88.6	16.0	0.2	36.8	5.9
1954	534.8	126.7	23.7	0.1	36.1	8.6
1955	293.6	12.0	4.1	0.9	27.8	1.1
1956	357.0	-9.1	-2.5	0.9	30.3	-0.7
1957	390.5	75.8	19.4	0.3	31.9	6.2
1958	172.9	45.9	26.5	0.5	17.2	4.5
1959	181.4	141.0	77.7	0.2	16.3	12.6
1960	256.2	139.8	54.6	0.05	23.2	12.7
1961	252.5	167.2	66.2	0.1	21.4	14.1
1962	266.8	196.9	73.8	0.05	25.6	18.9
1963	416.4	216.5	52.0	0.05	32.1	16.7
1964	285.8	62.4	21.8	0.4	24.2	5.2
竜の口山—北谷 T.-K.						
1945	480.6	205.1	42.7	0.05	33.8	14.4
1946	471.2	97.8	20.8	0.1	34.9	7.2
1947	288.1	36.4	12.6	0.7	31.4	4.0
1948	287.8	101.7	35.3	0.1	24.0	8.5
1949	464.8	137.4	29.6	0.05	34.8	10.2
1950	392.2	91.5	23.3	0.1	31.8	7.4
1951	406.2	143.3	35.3	0.05	33.5	11.9
1952	513.9	107.1	20.8	0.1	36.2	7.5
1953	573.7	171.8	29.9	0.05	38.2	11.4
1954	555.9	163.0	29.3	0.05	37.6	11.0
1955	294.3	33.8	11.5	0.5	27.8	3.2
1956	362.1	10.1	2.8	0.9	30.8	0.8
1957	397.6	63.7	16.0	0.3	32.5	5.2
1958	187.3	64.3	34.3	0.4	18.6	6.4
1959	209.8	116.0	55.3	0.2	18.8	10.4
1960	269.4	91.0	33.8	0.1	24.4	8.3
1961	278.4	88.7	31.9	0.2	23.6	7.5
1962	268.5	158.1	58.9	0.02	25.8	15.1
1963	429.0	96.8	22.6	0.2	33.1	7.4
1964	306.6	23.6	7.7	0.7	25.9	2.0
Wagon Wheel Gap-B						
1918-'19	157.8	-6.2	-3.9	0.4	29.4	-1.2
1919-'20	201.7	15.5	7.7	0.05	36.5	2.7
1920-'21	178.0	33.6	18.9	0.01	31.2	5.8
1921-'22	176.4	46.4	29.7	0.01	33.8	8.9
1922-'23	158.2	24.0	15.2	0.01	26.1	4.1
1923-'24	183.1	20.4	11.1	0.02	43.0	4.8
1924-'25	113.1	12.7	11.2	0.1	19.9	2.2
1925-'26	115.8	12.4	10.7	0.1	25.2	2.7

* 測定された量の変化が偶然に起こりうる確率

The probability that a change in the magnitude measured could have occurred by chance alone.

その結果が Table 18, 20~28, 30, 33 の各表に示された。

これらの表の中で，“期待”量は前述の回帰式による計算値であり，“変化”量は実測量と期待量の差である。変化量が－符号のものは期待量が実測量より大きいもの、すなわち処理期間において流出量が減少したことを示し、他はその逆で増加したことを示す。

変化率は期待量に対する変化量の百分率である。

これらの変化が偶然に起こりうる確率も示された。

また年・豊水・夏期などの各流出率の“期待”値は年降水量に対する期待量の比、また各流出率の“変化”値は年降水量に対する変化量の百分率である。

V-2-1. 年流出量

Table 18 から次のことがいえよう。

竜の口山—南谷・Wagon Wheel Gap で、それぞれ4 年・1 年については減少したことになるが、他はすべて増加である。

増加したことは、各流域における伐採前後の期間の平均年降水量と平均年流出量を比較しても知られる (Table 19)。すなわち降水量は両期間で大差がないが、流出量はいずれも大きくなっている。ただし伐採が択伐であった宝川では、明りょうではない。

Table 18 で、増加量の有意性のきわめて低いものをまじえているが、減少の場合がきわめて少ないこと、大きな増加の場合の有意性が高いことから、森林処理後年流出量は増加したと認めてよかろう。同様に年流出率も同じく増加したとしてよかろう。

増加量ならびに増加率は流域と年によりきわめて変動している。そして、おおよそ植被の変動と符合する経年的傾向がうかがえる。Wagon Wheel Gap・上川で顕著である。しかし詳細にみれば、植生変動と符合しない変動が多いことは明らかである。竜の口山の両谷で変動が激しいことに着目して、降水量など気象条件と対照するとこれらとの符合傾向があることもうかがえる。

しかしいろいろの試験処理、したがって伐跡地の植被状態が含まれているにもかかわらず、日本の5 流域では最大増加量が、205~276mm、また流出率の最大増加が12.6~18.9%の範囲で、Wagon Wheel Gap のそれらより大きいことが注目される。

V-2-2. 豊水・平水・低水・渇水各流出量

(a) 豊水流出量

Table 20 から次のことがいえよう。

竜の口山—南谷の4 年、Wagon Wheel Gap の1 年を除いて他は増加である。

豊水流出量は年流出量の大部分（上川・Wagon Wheel Gap：60~70%、釜淵・竜の口山：90%）を占めているから、処理期間における変化の傾向が年流出量の場合とほぼ同じになることは当然である。

きわめて有意性の低い増加量をまじえているが、減少の場合の少ないこと、大きい増加の場合が必ず高度に有意であることから、伐採によって豊水流出量は増加したとしてよかろう。

豊水流出率も同様に増加したと言ってよかろう。

増加量ならびに増加率は流域と年によりきわめて異なる。

日本の4 流域の最大増加量が171~199mm、流出率の最大増加が7.1~15.4%の範囲で、Wagon Wheel Gap のそれらより概して大きいことが注目される。

Table 19. 各流域における平均年降水量・
Mean annual precipitation, mean annual runoff and

流 域 Watershed	上川一北谷 K.-K.		釜淵一2号沢 K.-2	
期 間 Period	基 準 Calibration	処 理 Treatment	基 準 Calibration	処 理 Treatment
平均年降水量 (mm) Mean annual precipitation	1437.7	1481.6	2641.0	2617.5
平均年流出量 (mm) Mean annual runoff	807.6	989.8	2075.3	2166.8
平均年流出率 (%) Mean annual runoff coefficient	56.2	66.9	77.7	82.5

Table 20. 処理期間における
Changes in plentiful runoff and plentiful

水 年 Wateryear	豊水流出量 Plentiful runoff			確 率 Probability	豊 水 流 出 率 Plentiful runoff coefficient		
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %	
上川一北谷 K.-K.							
1953-'54	574.6	29.1	5.1	0.5	39.1	2.0	
1954-'55	758.1	61.4	8.1	0.3	40.5	3.3	
1955-'56	559.2	171.5	30.7	0.01	39.0	12.0	
1956-'57	530.3	98.0	18.5	0.05	38.7	7.2	
1957-'58	539.8	130.3	24.1	0.01	38.8	9.4	
1958-'59	521.7	21.8	4.2	0.6	38.6	1.6	
釜淵一 2号沢 K.-2							
1947-'48	1692.7	66.3	3.9	0.4	65.9	2.6	
1948-'49	1472.6	54.4	3.7	0.5	67.2	2.5	
1949-'50	1446.0	33.0	2.3	0.7	67.3	1.5	
1950-'51	1382.7	25.3	1.8	0.8	64.4	1.2	
1951-'52	1725.8	129.2	7.5	0.1	67.8	5.1	
1952-'53	1889.9	193.1	10.2	0.05	68.9	7.0	
1953-'54	1186.4	30.6	2.6	0.8	58.3	1.5	
1954-'55	1839.4	131.5	7.2	0.1	62.5	4.5	
1955-'56	1779.9	174.1	9.7	0.05	62.6	6.1	
1956-'57	1744.1	108.9	6.2	0.2	67.3	4.2	
1957-'58	1871.6	133.3	7.1	0.1	64.4	4.6	
1958-'59	1845.0	43.0	2.3	0.6	61.9	1.4	
1959-'60	1619.4	116.6	7.2	0.2	65.1	4.7	
1960-'61	2032.1	187.9	9.3	0.05	68.0	6.3	
1961-'62	1801.0	199.0	11.0	0.05	64.3	7.1	
1962-'63	2129.3	166.7	7.8	0.05	75.0	5.9	
1963-'64	1978.0	109.0	5.5	0.2	72.2	4.0	
竜の口山一南谷 T.-M.							
1944	151.9	-34.8	-22.9	0.5	18.2	- 4.2	
1945	429.2	175.9	41.0	0.1	30.1	12.4	
1946	414.4	17.0	4.1	0.8	30.7	1.3	
1947	302.2	-76.0	-25.1	0.4	33.0	- 8.3	
1948	232.4	43.2	18.6	0.4	19.4	3.6	
1949	419.6	8.1	1.9	0.9	31.4	0.6	
1950	346.3	-33.1	- 9.6	0.5	28.0	- 2.7	
1951	377.2	38.8	10.3	0.6	31.1	3.2	
1952	460.5	7.0	1.5	0.9	32.4	0.5	
1953	507.7	82.5	16.2	0.2	33.8	5.5	
1954	486.8	106.0	21.8	0.1	32.9	7.2	
1955	261.6	5.4	2.1	—	24.7	0.5	

平均年流出量および平均年流出率

mean annual runoff coefficient on each watershed

宝川一初沢 T.-S.		竜の口山一南谷 T.-M.		竜の口山一北谷 T.-K.		Wagon Wheel Gap-B	
基準 Calibration	処 理 Treatment	基準 Calibration	処 理 Treatment	基準 Calibration	処 理 Treatment	基準 Calibra- tion	処 理 Treat- ment
2153.0	2082.8	1152.9	1204.8	1113.2	1223.3	535.9	530.2
1783.3	1732.3	292.9	427.3	289.6	471.9	157.8	180.4
82.7	83.3	23.4	34.6	23.8	37.9	29.1	34.4

豊水流出量・豊水流出率の変化

runoff coefficient for treatment period

水 年 Wateryear	豊水流出量 Plentiful runoff			確 率 Probability	豊水流出率 Plentiful runoff coefficient	
	期 Predicted mm	待 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 Predicted %	変 化 率 Change %
1956	334.8	-33.7	-10.1	0.6	28.4	-2.9
1957	363.2	55.5	15.3	0.4	29.7	4.5
1958	142.0	41.7	29.4	0.5	14.1	4.1
1959	148.5	125.7	84.6	0.2	13.3	11.3
1960	228.5	114.7	50.2	0.1	20.7	10.4
1961	217.4	149.9	68.9	0.1	18.4	12.7
1962	243.8	180.8	74.1	0.05	23.4	17.3
1963	389.4	182.6	46.8	0.05	30.0	14.1
1964	247.3	49.2	19.9	0.4	20.9	4.2
竜の口山一北谷 T.-K.						
1945	456.2	167.1	36.6	0.05	32.0	11.7
1946	433.3	71.1	16.4	0.2	32.0	5.3
1947	276.5	7.0	2.5	—	30.2	0.8
1948	259.8	92.4	35.6	0.1	21.7	7.7
1949	435.2	94.7	21.8	0.2	32.5	7.1
1950	359.7	45.0	12.5	0.4	29.1	3.6
1951	381.6	114.2	29.9	0.1	31.5	9.4
1952	481.2	90.9	18.9	0.2	33.9	6.4
1953	532.6	168.6	31.6	0.05	35.4	11.2
1954	512.1	146.3	28.6	0.05	34.6	9.9
1955	263.7	39.3	14.9	0.4	24.9	3.7
1956	341.4	1.0	0.0	—	29.0	0.1
1957	371.9	60.8	16.3	0.3	30.4	5.0
1958	157.0	67.9	43.2	0.3	15.6	6.7
1959	177.9	117.6	66.1	0.2	16.0	10.6
1960	242.8	91.6	37.7	0.1	22.0	8.3
1961	244.9	96.9	39.6	0.2	20.7	8.2
1962	246.4	160.9	65.3	0.02	23.6	15.4
1963	404.3	88.4	21.8	0.2	31.2	6.8
1964	270.0	29.8	11.0	0.6	22.8	2.5
Wagon Wheel Gap-B						
1918-'19	109.8	-3.6	-3.3	0.4	20.4	-0.7
1919-'20	149.6	15.0	10.0	0.02	27.0	2.7
1920-'21	116.6	26.9	23.1	0.001	20.4	4.7
1921-'22	117.7	39.6	33.6	0.001	22.5	7.5
1922-'23	98.0	22.0	22.4	0.01	16.2	3.6
1923-'24	122.4	16.9	13.8	0.01	28.7	3.9
1924-'25	55.2	10.5	19.0	0.05	9.6	1.8
1925-'26	65.0	14.2	21.8	0.02	14.1	3.0

増加量・増加率の変動は植被のそれに経年的におおよそ符合することがうかがわれ、また気象条件にも関連がありそうなことがそれぞれの資料を対照することにより推定された。

(b) 平水流出量

Table 21 からつぎのことがいえよう。

釜淵の 1 か年、竜の口山—北谷の 4 か年、Wagon Wheel Gap の 3 か年で減少したが、他はすべて増加であり、増加量の有意性がすべてに高いわけではないが、大きな増加の有意性が高いことから、森林処理により平水流出量は増加したとしてよからう。

平水流出率についても同様増加したといえよう。

増加量・増加率は流域と年により異なる。

日本の 4 流域の最大増加量は 19~62mm、流出率の最大増加は 1.5~4.5%の範囲で、Wagon Wheel Gap のそれらより大きい。

竜の口山—北谷で処理期間の後年において増加量が小さくなり、あるいは減少の場合が現われること、上川・Wagon Wheel Gap における経年変化から平均的傾向としては植生の経年変化との符合関係があるものと推定される。また竜の口山の両谷の経年的傾向の顕著な違いが注目され、これからも植生処理との符合関係が推定される。

しかし詳細にみれば、植被変動と符合しない変動が多く、釜淵・竜の口山の例で降水など気象関係の資料を対照することによりこれらともかなりの経年的符合が推定された。

(c) 低水流出量

Table 22 からつぎのことがいえよう。

竜の口山—北谷の 6 か年、Wagon Wheel Gap の 3 か年では減少したことになるが、他はすべて増加であり、すべてに有意性が高度というわけではないが大きな増加ではすべて有意性が高い点から、処理後低水流出量は増加したとしてよからう。低水流出率についても増加したといってよからう。

増加量・増加率は流域と年により異なる。

日本の 4 流域の最大増加量が 11~29mm、また流出率の最大増加が 0.9~2.2%の範囲で、Wagon Wheel Gap のそれらより大きいことが注目される。

竜の口山—北谷・上川・Wagon Wheel Gap の経年的傾向や、竜の口山の両谷の経年的傾向の顕著な違いなどから、植生地被の経年変化との符合関係が明らかに想像される。また降水など気象条件が、これに加わって変動を複雑にしていることもそれぞれの資料の対照で十分うかがわれた。

(d) 渇水流出量

Table 23 から次のことがいえよう。

少数の減少の例（釜淵：2 か年、竜の口山—北谷：5 か年、竜の口山—南谷：2 か年、Wagon Wheel Gap：3 か年）があるが、他は増加である。有意性のきわめて低い増加量をまじえているが、大きな増加の有意性が高いこと、減少の場合がきわめて少ないことから、森林伐採により渇水流出量は増加したとしてよからう。渇水流出率も同様増加したといえよう。

増加量・増加率は流域と年によりかなり変動している。

しかし、おおよそ植被変動に符合する傾向がうかがわれ、竜の口山・Wagon Wheel Gap では顕著である。

Table 21. 処理期間における平水流出量・平水流出率の変化
Changes in ordinary runoff and ordinary runoff coefficient for treatment period

水 年 Wateryear	平水流出量 Ordinary runoff			確 率 Probability	平 水 流 出 率 Ordinary runoff coefficient		
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %	
上川—北谷 K.-K.							
1953-'54	135.6	0	0	—	9.2	0	
1954-'55	200.8	32.8	16.3	0.05	10.7	1.8	
1955-'56	130.1	49.6	38.1	0.01	9.1	3.4	
1956-'57	119.8	52.6	43.9	0.001	8.7	3.9	
1957-'58	120.2	62.0	51.6	0.001	8.6	4.5	
1958-'59	116.8	49.0	42.0	0.01	8.6	3.7	
釜淵—2号沢 K.-2							
1947-'48	182.7	8.3	4.5	0.8	7.1	0.3	
1948-'49	211.5	27.4	13.0	0.4	9.7	1.3	
1949-'50	174.1	8.3	4.8	0.8	8.1	0.4	
1950-'51	155.9	— 3.4	— 2.2	0.9	7.3	— 0.2	
1951-'52	154.2	18.2	11.8	0.5	6.1	0.7	
1952-'53	163.0	7.1	4.4	0.8	5.9	0.3	
1953-'54	162.2	11.0	6.8	0.7	8.0	0.5	
1954-'55	190.3	35.3	18.5	0.2	6.5	1.2	
1955-'56	200.2	31.9	15.9	0.3	7.0	1.1	
1956-'57	170.2	14.5	8.5	0.6	6.6	0.6	
1957-'58	241.0	20.4	8.5	0.5	8.3	0.7	
1958-'59	235.6	21.5	9.1	0.5	7.9	0.7	
1959-'60	165.3	33.1	20.0	0.2	6.6	1.3	
1960-'61	219.7	42.9	19.5	0.2	7.4	1.4	
1961-'62	219.0	32.8	15.0	0.3	7.8	1.2	
1962-'63	225.5	42.2	18.7	0.2	7.9	1.5	
1963-'64	215.1	39.2	18.2	0.2	7.9	1.4	
竜の口山—南谷 T.-M.							
1944	8.49	4.10	48.3	0.2	1.0	0.5	
1945	16.93	17.91	105.8	0.01	1.2	1.3	
1946	23.33	13.85	59.4	0.01	1.7	1.0	
1947	11.95	10.44	87.4	0.02	1.3	1.1	
1948	15.26	2.48	16.3	0.3	1.3	0.2	
1949	22.04	8.04	36.5	0.05	1.6	0.6	
1950	19.31	19.26	99.8	0.01	1.6	1.6	
1951	17.73	11.28	63.6	0.01	1.5	0.9	
1952	21.67	12.83	59.2	0.01	1.5	0.9	
1953	25.58	1.94	7.6	0.5	1.7	1.2	
1954	26.27	11.84	45.1	0.02	1.8	0.8	
1955	16.67	2.87	17.2	0.3	1.6	0.3	
1956	15.21	11.36	74.7	0.01	1.3	1.0	
1957	17.66	7.96	45.1	0.05	1.4	0.7	
1958	13.43	4.77	35.5	0.1	1.3	0.5	
1959	11.92	16.21	135.9	0.01	1.1	1.5	
1960	12.95	13.61	105.0	0.01	1.2	1.2	
1961	13.64	11.94	87.5	0.01	1.2	1.0	
1962	11.27	7.43	65.9	0.05	1.1	0.7	
1963	18.97	17.77	93.6	0.01	1.5	1.4	
1964	16.23	11.93	73.5	0.01	1.4	1.0	
竜の口山—北谷 T.-K.							
1945	15.58	21.91	140.6	0.01	1.1	1.5	
1946	20.54	16.50	80.3	0.01	1.5	1.2	
1947	11.47	12.36	107.8	0.02	1.3	1.3	
1948	14.10	6.91	49.0	0.1	1.2	0.6	
1949	19.46	18.10	93.0	0.01	1.5	1.4	
1950	17.35	29.88	172.2	0.01	1.4	2.4	

Table 21. (つづき) (Continued)

水 年 Wateryear	平水流出量 Ordinary runoff			確 率 Probability	平 水 流 出 率 Ordinary runoff coefficient	
	期 待 変 Predicted mm	化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 変 Predicted %	化 Change %
1951	16.10	15.98	99.3	0.01	1.3	1.3
1952	19.28	9.04	46.9	0.05	1.4	0.6
1953	22.39	0.80	3.6	0.9	1.5	0.1
1954	22.92	11.93	52.1	0.05	1.5	0.8
1955	15.23	- 0.67	- 4.4	0.9	1.4	- 0.1
1956	14.10	4.22	29.9	0.3	1.2	0.4
1957	16.04	- 1.02	- 6.4	0.8	1.3	- 0.1
1958	12.63	1.74	13.8	0.6	1.3	0.2
1959	11.54	6.87	59.5	0.1	1.0	0.6
1960	12.37	0.67	5.4	0.9	1.1	0.1
1961	12.95	- 0.40	- 3.1	—	1.1	- 0.03
1962	11.55	- 2.11	-18.3	0.6	1.1	- 0.2
1963	17.05	1.97	11.6	0.6	1.3	0.2
1964	14.98	2.91	19.4	0.5	1.3	0.2
Wagon Wheel Gap-B						
1918-'19	18.21	1.23	6.8	0.6	3.4	0.2
1919-'20	24.52	-1.62	- 6.6	0.3	4.4	- 0.3
1920-'21	25.66	3.79	14.8	0.1	4.5	0.7
1921-'22	18.60	9.33	50.2	0.02	3.6	1.8
1922-'23	27.03	-0.75	- 2.8	0.6	4.5	- 0.1
1923-'24	23.46	4.35	18.5	0.05	5.5	1.0
1924-'25	23.75	2.01	8.5	0.2	4.2	0.4
1925-'26	23.17	-1.90	- 8.2	0.2	5.0	- 0.4

もちろん詳細に見れば、植被変動だけでは説明できない変動があり、これには降水その他気象条件が関連することが推定された。

日本の4流域の最大増加量は5.0~10.0mm、流出率の最大増加は0.2~1.2%の範囲で、Wagon Wheel Gapのそれらに比べて概して大きいことが認められる。

(e) 豊水・平水・低水・渇水各流出量の期待量・変化量のそれぞれ合計量と年流出量の期待量・変化量との比較

森林がもし処理されなかった場合の処理期間における年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の期待量はそれぞれ別個の推定回帰式により求められた。これら回帰式の精度が高ければ年流出量の期待量は、豊水・平水・低水・渇水各流出量の期待量合計と一致するはずである。これらの一致が認められれば、この報告の検討の信頼度が高いことを一部裏付けることができよう。前述したように、各回帰式の精度はある程度高度なことから、かなりの一致が認められるはずである。

いま流域別・水年別に年流出量の期待量と、4種の流出量の期待量の合計との比(%)の範囲をとって見ると、上川：99~103、釜淵：99~100、竜の口山—南谷：96~103(1例だけ92)、竜の口山—北谷：97~104(1例だけ94)、Wagon Wheel Gap：97~103となる。年流出量の大きな部分を豊水流出量が占めており、当然豊水流出量と年流出量の関係は、密であることもこのような一致を満たす理由であろうが、いちおうの信頼性を示す結果であろう。

次に処理期間における流出量の変化量についても、年流出量のそれと4種の流出量のその合計量と一致することが望ましい。

Table 22. 処理期間における低水流出量・低水流出率の変化
Changes in low runoff and low runoff coefficient for treatment period

水 年 Wateryear	低水流出量 Low runoff			確 率 Probability	低 水 流 出 率 Low runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
上川—北谷 K.-K.						
1953-'54	87.17	3.23	3.7	0.7	5.9	2.2
1954-'55	105.49	7.60	7.2	0.5	5.6	0.4
1955-'56	93.23	21.80	23.4	0.1	6.5	1.5
1956-'57	82.98	10.53	12.7	0.3	6.1	0.8
1957-'58	77.72	29.30	37.7	0.01	5.6	2.1
1958-'59	73.49	28.37	38.6	0.01	5.4	2.1
釜淵—2号沢 K.-2						
1947-'48	78.80	15.25	19.4	0.2	3.1	0.6
1948-'49	48.25	21.33	44.2	0.05	2.2	1.0
1949-'50	61.27	2.34	3.8	0.8	2.9	0.1
1950-'51	62.48	13.29	21.3	0.2	2.9	0.6
1951-'52	73.35	9.97	13.6	0.3	2.9	0.4
1952-'53	63.76	9.97	15.6	0.3	2.3	0.4
1953-'54	54.12	5.59	10.3	0.6	2.7	0.3
1954-'55	68.99	10.50	15.2	0.3	2.3	0.4
1955-'56	81.05	12.42	15.3	0.3	2.9	0.4
1956-'57	86.29	7.06	8.2	0.5	3.3	0.3
1957-'58	101.65	14.08	13.9	0.3	3.5	0.5
1958-'59	92.28	14.66	15.9	0.2	3.1	0.5
1959-'60	62.70	21.55	34.4	0.05	2.5	0.9
1960-'61	99.57	21.26	21.4	0.1	3.3	0.7
1961-'62	94.32	20.84	22.1	0.1	3.4	0.7
1962-'63	104.51	20.54	19.7	0.1	3.7	0.7
1963-'64	83.13	24.26	29.2	0.05	3.0	0.9
竜の口山—南谷 T.-M.						
1944	4.47	2.99	66.9	0.1	0.5	0.4
1945	10.07	11.28	112.0	0.01	0.7	0.8
1946	14.20	6.56	46.2	0.01	1.1	0.5
1947	7.55	6.34	84.0	0.01	0.8	0.7
1948	8.52	1.40	16.4	0.3	0.7	0.1
1949	13.45	8.35	62.1	0.01	1.0	0.6
1950	9.77	11.55	118.2	0.01	0.8	0.9
1951	10.19	6.15	60.4	0.01	0.8	0.5
1952	12.07	6.27	51.9	0.01	0.8	0.4
1953	15.74	1.68	10.7	0.3	1.0	0.1
1954	16.76	4.30	25.7	0.05	1.1	0.3
1955	10.15	2.71	26.7	0.1	1.0	0.3
1956	8.82	5.52	62.6	0.02	0.7	0.5
1957	11.44	4.08	35.7	0.05	0.9	0.3
1958	7.91	3.80	48.0	0.05	0.8	0.4
1959	5.35	10.02	187.2	0.01	0.5	0.9
1960	8.21	9.89	120.4	0.01	0.7	0.9
1961	7.54	10.40	137.9	0.01	0.6	0.9
1962	6.77	6.72	99.2	0.01	0.6	0.6
1963	13.01	5.95	45.7	0.02	1.0	0.5
1964	9.22	7.03	76.2	0.01	0.8	0.6
竜の口山—北谷 T.-K.						
1945	9.53	11.23	117.8	0.05	0.7	0.8
1946	13.21	6.14	46.5	0.2	1.0	0.5
1947	8.07	3.80	47.1	0.3	0.9	0.4
1948	8.18	3.34	40.8	0.4	0.7	0.3
1949	12.26	12.32	100.5	0.01	0.9	0.9
1950	9.66	14.36	148.7	0.01	0.8	1.2

Table 22. (つづき) (Continued)

水 年 Wateryear	低水流出量 Low runoff			確 率 Probability	低水流出率 Low runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
1951	9.92	5.27	53.1	0.05	0.8	0.4
1952	11.38	2.73	24.0	0.2	0.8	0.2
1953	14.50	0.40	2.8	—	1.0	0.02
1954	15.37	2.36	15.4	0.6	1.0	0.2
1955	10.19	-1.79	-17.6	0.7	1.0	-0.2
1956	8.66	-0.53	-6.1	0.8	0.7	-0.04
1957	10.84	-1.14	-10.5	0.6	0.9	-0.1
1958	8.11	0.65	8.0	0.3	0.8	0.1
1959	5.99	2.98	49.7	0.3	0.5	0.3
1960	8.37	0.76	9.1	0.7	0.8	0.1
1961	7.89	0.80	10.1	0.7	0.7	0.1
1962	7.42	-0.60	-8.1	0.8	0.7	-0.1
1963	11.84	-1.07	-9.0	0.7	0.9	-0.1
1964	9.38	-0.05	-0.5	—	0.8	-0.0
Wagon Wheel Gap-B						
1918-'19	19.24	-2.65	-13.8	0.05	3.6	-0.5
1919-'20	20.45	-1.33	-6.5	0.2	3.7	-0.2
1920-'21	21.90	3.07	14.0	0.02	3.8	0.5
1921-'22	22.09	2.11	9.6	0.05	4.2	0.4
1922-'23	20.67	2.28	11.0	0.1	3.4	0.4
1923-'24	23.45	0.08	0.3	—	5.5	0.01
1924-'25	20.84	1.57	7.5	0.1	3.7	0.3
1925-'26	20.39	-2.11	-10.3	0.1	4.4	-0.5

前述のとおり推定値に誤差が考えられるので、完全な一致は当然得られないが、検討の結果かなり一致することが認められた。

なお年流出量と4種の流出量のそれぞれの変化量のうち、4つ以上が同時に比較的高度(推計学的に0.3以上で有意)に信頼できる年について、年変化量に対する4種の流出量の合計変化量の比(%)の範囲をとってみると、上川:92~109, 釜淵:99~102, 竜の口山—南谷:92~109, 竜の口山—北谷:95~103, Wagon Wheel Gap:100~116, となった。ここにあげた範囲の両極値の例数は少ないことを考慮に入れば、かなり満足できる結果と言えよう。

V-2-3. 季節流出量

(a) 夏期流出量

Table 24 から次のことが言えよう。

少数の減少例(宝川:1夏期, 竜の口山—南谷:1夏期, 竜の口山—北谷:3夏期, Wagon Wheel Gap:2夏期)があるが、他は増加である。きわめて有意性の低い増加量をかなりまじえているが、減少したものが少ないことと大きな増加の場合の信頼度が高いことから、森林処理によって夏期流出量は増加したと言ってよからう。当然夏期流出率も増加したとしてよからう。

増加量・増加率は流域と年によりきわめて異なる。

しかしながら、とくに上川・Wagon Wheel Gapの経年的傾向から、植被の経年変化との符合が想像できる。また降水など気象条件の流域・年による違いが、さらに複雑にしていることもそれぞれの資料の対照から十分考えられる。

Table. 23. 処理期間における渇水流出量・渇水流出率の変化
 Changes in scanty runoff and scanty runoff coefficient for treatment period

水 年 Wateryear	渇水流出量 Scanty runoff			確 率 Probability	渇 水 流 出 率 Scanty runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
上川—北谷 K.-K.						
1953-'54	37.88	1.72	4.5	0.6	2.6	0.1
1954-'55	35.60	5.83	16.4	0.1	1.9	0.3
1955-'56	45.97	1.83	4.0	0.7	3.2	1.2
1956-'57	34.82	6.86	19.7	0.1	2.5	0.5
1957-'58	32.89	8.42	25.6	0.05	2.4	0.6
1958-'59	29.60	10.06	34.0	0.02	2.2	0.7
釜淵—2号沢 K.-2						
1947-'48	13.70	3.88	28.3	0.3	0.5	0.2
1948-'49	5.98	1.30	21.7	0.7	0.3	0.1
1949-'50	6.06	0.46	7.6	0.2	0.3	0.0
1950-'51	6.98	4.22	60.5	0.3	0.3	0.2
1951-'52	17.81	1.24	7.0	0.3	0.7	0.0
1952-'53	10.24	2.67	26.1	0.5	0.4	0.1
1953-'54	4.99	1.78	35.7	0.6	0.2	0.1
1954-'55	7.33	0.71	9.7	0.9	0.2	0.0
1955-'56	12.75	2.59	20.3	0.5	0.4	0.1
1956-'57	19.19	-2.14	-11.2	0.6	0.7	-0.1
1957-'58	12.05	1.52	12.6	0.7	0.4	0.1
1958-'59	18.76	-3.26	-17.4	0.4	0.6	-0.1
1959-'60	13.89	3.40	24.5	0.4	0.6	0.1
1960-'61	21.33	4.96	23.3	0.2	0.7	0.2
1961-'62	16.91	2.75	16.3	0.5	0.6	0.1
1962-'63	24.87	1.78	7.2	0.7	0.9	0.1
1963-'64	15.58	3.00	19.3	0.4	0.6	0.1
竜の口山—南谷 T.-M.						
1944	1.87	-0.10	- 5.3	—	0.2	-0.0
1945	3.57	1.71	47.9	0.3	0.3	0.1
1946	6.04	3.65	60.5	0.05	0.4	0.3
1947	3.21	2.84	88.6	0.1	0.4	0.3
1948	2.86	1.13	39.5	0.4	0.2	0.1
1949	5.31	5.24	98.8	0.02	0.4	0.4
1950	4.04	3.58	88.7	0.05	0.3	0.3
1951	4.10	3.26	79.6	0.05	0.3	0.3
1952	4.87	2.73	56.0	0.1	0.3	0.2
1953	6.75	-0.25	- 3.7	0.9	0.4	-0.0
1954	7.29	2.22	30.5	0.2	0.5	0.2
1955	4.46	1.75	39.2	0.2	0.4	0.2
1956	3.26	2.63	80.6	0.1	0.3	0.2
1957	4.55	1.90	41.7	0.2	0.4	0.2
1958	3.10	2.14	69.0	0.1	0.3	0.2
1959	1.79	2.92	163.1	0.1	0.2	0.3
1960	3.18	4.94	155.3	0.02	0.3	0.4
1961	2.92	5.92	202.7	0.01	0.2	0.5
1962	2.73	4.15	152.0	0.05	0.3	0.4
1963	4.97	0.28	5.6	0.8	0.4	0.0
1964	3.88	3.43	88.4	0.05	0.3	0.3
竜の口山—北谷 T.-K.						
1945	3.35	0.80	23.9	0.7	0.2	0.1
1946	5.72	2.47	43.2	0.2	0.4	0.2
1947	3.28	2.03	61.9	0.2	0.4	0.2
1948	2.89	1.85	64.0	0.3	0.2	0.2
1949	5.07	5.10	100.6	0.01	0.4	0.4
1950	4.02	3.67	91.3	0.05	0.3	0.3

Table 23. (つづき) (Continued)

水 年 Wateryear	渇水流出量 Scanty runoff			確 率 Probability	渇水流出率 Scanty runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
1951	4.01	2.38	59.4	0.1	0.3	0.2
1952	4.64	1.86	40.1	0.1	0.3	0.1
1953	6.27	-0.12	-1.9	—	0.4	-0.0
1954	6.77	1.06	15.7	0.6	0.5	0.1
1955	4.40	-1.26	-28.6	0.5	0.4	-0.1
1956	3.24	0.08	2.5	—	0.3	0.0
1957	4.36	-0.46	-10.6	0.6	0.4	-0.0
1958	3.18	0.33	10.4	0.7	0.3	0.0
1959	1.96	1.01	51.5	0.4	0.2	0.1
1960	3.14	0.75	23.9	0.4	0.3	0.1
1961	2.91	1.13	38.8	0.3	0.2	0.1
1962	2.76	0.26	9.4	0.8	0.3	0.0
1963	4.69	-1.44	-30.7	0.2	0.4	-0.1
1964	3.79	-0.56	-14.8	0.6	0.3	-0.0
Wagon Wheel Gap-B						
1918-'19	10.71	-1.33	-12.4	0.02	2.0	-0.2
1919-'20	12.19	-1.66	-13.6	0.01	2.2	-0.3
1920-'21	12.06	1.62	13.4	0.01	2.1	0.3
1921-'22	12.12	1.25	10.3	0.01	2.3	0.2
1922-'23	12.53	0.43	3.4	0.2	2.1	0.1
1923-'24	12.83	0.11	0.9	0.7	3.0	0.0
1924-'25	11.33	0.66	5.8	0.1	2.0	0.1
1925-'26	9.64	-0.14	-1.5	0.6	2.1	-0.0

日本の 5 流域の最大増加量が、Wagon Wheel Gap のそれより大きく 83~249mm の範囲で、また流出率の最大増加も同様にして 11.8~28.3% の範囲で大きいことが注目される。

(b) 冬期流出量

Table 25 からつぎのことがいえよう。

上川・Wagon Wheel Gap では例外なく増加であり、増加の有意性はきわめて高い。竜の口山ではきわめて少数の例外（南谷：1 冬期，北谷：2 冬期）があるが、やはり大勢は増加である。有意性のきわめて低い増加をかなりまじえているが、しかし増加量の大きいものは信頼度が高い。これらのことから 3 流域では森林処理により冬期流出量は増加したといえよう。流出率も増加したとしてよからう。

しかし、釜淵・宝川では有意性の低いものが多いが減少したことになる例が比較的多い、ことに宝川では多く、この 2 流域では森林処理により冬期流出量が増加したとは一概にはいえない。ただし、釜淵の後年（階段工が施工された時期）では明らかに増加したといえよう。

上川・Wagon Wheel Gap・竜の口山でも増加量・増加率は、流域と年によりきわめて異なる。前 2 者の経年変化は明らかに植被の経年変化と符合すると見られ、また竜の口山では両谷の対照から、植被の変化が関係していることが推定される。

しかし詳細にみれば、植被変化だけで説明できない変動があることは明らかで、一方気象資料との照合により、これともかなりの関係があることが知られた。

(c) 積雪期流出量

Table 26 により次のことが言えよう。

Table 24. 処理期間における夏期流出量・夏期流出率の変化
 Changes in summer season runoff and summer season runoff coefficient for treatment period

年 Year	夏期流出量 Summer season runoff			確率 Probability	夏期流出率 Summer season runoff coefficient	
	期 Predicted mm	待 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 Predicted %	待 Change %
上川一北谷 K.-K.						
1954	346.02	10.58	3.1	0.9	48.1	1.5
1955	668.04	12.26	1.8	0.9	55.9	1.0
1956	290.47	80.93	27.9	0.1	42.4	11.8
1957	324.57	83.03	25.6	0.1	40.9	10.4
1958	340.57	63.23	18.6	0.3	44.8	8.3
1959	312.98	19.62	6.3	0.7	41.1	2.5
釜淵一2号沢 K.-2						
1948	727.20	114.64	15.8	0.02	58.7	9.3
1949	273.82	106.48	38.9	0.05	34.5	13.4
1950	445.00	85.00	19.1	0.1	46.8	8.9
1951	263.52	109.68	41.6	0.05	36.6	15.2
1952	664.84	103.27	15.5	0.05	57.8	9.0
1953	724.49	114.29	15.8	0.02	61.2	9.6
1954	354.56	62.90	17.7	0.2	42.6	7.6
1955	716.74	112.46	15.7	0.05	57.7	9.1
1956	628.43	84.76	13.5	0.1	57.3	7.7
1957	560.17	76.03	13.6	0.1	51.3	6.9
1958	956.57	90.12	9.4	0.1	67.7	6.4
1959	749.47	40.07	5.4	0.4	59.9	3.2
1960	438.63	100.83	23.0	0.05	50.1	11.5
1961	756.71	107.09	14.2	0.05	63.2	9.0
1962	650.53	114.36	17.6	0.02	57.2	10.1
1963	805.06	88.66	11.0	0.1	73.9	8.2
1964	844.71	54.25	6.4	0.2	70.2	4.5
宝川一初沢 T.-S.						
1949	420.36	23.51	5.6	0.7	44.8	2.5
1950	503.89	—	—	—	48.4	—
1951	165.98	66.65	40.2	0.3	24.9	10.0
1952	442.62	-8.13	-1.8	0.9	46.7	-0.9
1953	578.18	153.13	26.5	0.05	52.9	14.0
1954	335.34	67.20	20.0	0.3	38.7	7.8
1955	364.46	52.04	14.3	0.4	40.6	5.8
1956	341.46	50.29	14.7	0.4	39.8	5.8
1957	469.09	73.56	15.7	0.2	48.4	7.6
1958	663.78	85.87	12.9	0.3	54.3	7.0
竜の口山一南谷 T.-M.						
1944	51.0	28.0	54.9	0.7	8.4	4.7
1945	424.9	153.3	36.1	0.1	34.8	12.5
1946	332.8	69.4	20.9	0.4	31.9	6.6
1947	114.8	99.1	86.3	0.2	15.8	13.7
1948	223.5	7.4	3.3	—	25.5	0.8
1949	305.2	66.2	21.7	0.4	30.1	6.6
1950	209.7	-24.9	-11.9	0.7	26.7	-3.2
1951	227.6	155.4	68.3	0.05	25.2	17.2
1952	353.6	69.8	19.7	0.4	33.3	6.6
1953	430.3	158.3	36.8	0.1	34.9	12.9
1954	408.8	191.2	46.8	0.05	32.8	15.3
1955	182.7	51.0	27.9	0.5	22.8	6.4
1956	260.9	7.3	2.8	—	28.8	0.8
1957	277.6	143.1	51.6	0.1	26.9	13.9
1958	145.3	6.2	4.3	—	19.6	0.8
1959	147.0	40.6	27.5	0.6	19.1	5.3
1960	246.6	104.2	42.3	0.2	26.2	11.0
1961	259.2	86.9	33.5	0.3	27.3	9.2

Table 24. (つづき) (Continued)

年 Year	夏期流出量 Summer season runoff			確率 Probability	夏期流出率 Summer season runoff coefficient	
	期 Predicted mm	待 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 Predicted %	待 Change %
1962	185.6	249.2	134.3	0.01	21.1	28.3
1963	363.9	235.5	64.7	0.02	31.7	20.5
1964	228.7	5.1	2.2	—	24.9	0.5
竜の口山—北谷 T.-K.						
1945	467.4	131.7	28.2	0.1	38.3	10.7
1946	369.5	89.7	24.3	0.2	35.3	8.6
1947	137.8	117.4	85.2	0.1	18.9	16.2
1948	253.4	30.0	11.8	0.6	28.9	3.4
1949	340.2	98.2	28.9	0.2	33.6	9.6
1950	238.7	-13.3	-5.6	0.9	30.3	-1.7
1951	257.7	173.8	67.4	0.05	28.5	19.3
1952	381.5	92.8	24.3	0.2	35.9	8.8
1953	462.5	208.8	45.2	0.02	37.5	17.0
1954	450.2	187.7	41.7	0.05	36.1	15.0
1955	210.0	30.9	14.7	0.6	26.2	3.8
1956	293.1	-13.0	-4.4	0.9	32.3	-1.4
1957	310.8	106.4	34.2	0.2	30.1	10.3
1958	170.2	5.5	3.2	—	22.9	0.7
1959	172.1	13.8	8.0	0.8	22.4	1.8
1960	277.8	46.6	16.8	0.5	29.4	5.0
1961	291.3	21.0	7.2	0.8	30.7	2.2
1962	213.0	196.9	92.4	0.01	24.1	22.4
1963	402.6	99.9	24.8	0.2	35.1	8.6
1964	258.9	-25.2	-9.7	0.7	28.1	-2.7
Wagon Wheel Gap-B						
1919	24.15	-0.76	-3.1	0.8	13.4	-0.5
1920	26.07	2.41	9.2	0.3	22.6	2.1
1921	27.92	3.93	14.1	0.3	16.2	2.2
1922	25.73	2.79	10.8	0.3	18.1	2.0
1923	25.69	2.23	8.7	0.4	9.9	0.9
1924	23.59	2.82	12.0	0.3	21.7	2.6
1925	20.70	2.93	14.2	0.3	8.8	1.2
1926	20.62	-0.23	-1.1	—	12.4	-0.2

上川・釜淵では例外なく増加であり、とくに前者では増加の有意性が高い。Wagon Wheel Gap では2か年の例外があるが、他は増加である。この例外年については理由が明らかにできよう（後述）。

釜淵・Wagon Wheel Gap では有意性のかなり低い増加をまじえているが、しかし増加量が大い場合の信頼度が高い。これらのことから上川を含む流域では森林除去により積雪期流出量は増加したとしてよからう。

宝川では有意性のかなり低い場合をまじえているが、減少したことになる例が比較的多く、ここでは積雪期流出量が増加したとは一概にいけない。

上川・釜淵・Wagon Wheel Gap の増加量・増加率は流域・年によりきわめて異なる。このことは解析精度にも関係があろうが、やはり植被変化と気象条件に主たる原因があるものと想像される。

(d) 融雪期流出量

Table 27 によりつぎのことが言えよう。

上川・Wagon Wheel Gap では例外なく増加であり、増加量の有意性はきわめて高い。したがって、

Table 25. 処理期間における冬期流出量・冬期流出率の変化

Changes in winter season runoff and winter season runoff coefficient for treatment period

年 Year	冬期流出量 Winter season runoff			確率 Probability	冬期流出率 Winter season runoff coefficient	
	期待 Predicted mm	変化 Change mm	変化率 Changing rate %		期待 Predicted %	変化 Change %
上川—北谷 K.-K.						
1954~55	480.29	47.01	9.8	0.05	70.7	6.9
1955~56	519.82	181.98	35.0	0.02	69.4	24.3
1956~57	421.55	106.85	25.3	0.3	73.2	18.5
1957~58	452.48	144.32	31.9	0.01	71.8	22.9
1958~59	429.05	89.25	20.8	0.3	72.5	15.2
釜淵—2号沢 K.-2						
1947~48	1282.54	-38.73	-3.0	0.6	94.2	-2.9
1948~49	1417.70	32.53	2.3	0.7	100.5	2.3
1949~50	1236.57	-36.73	-3.0	0.6	105.5	-3.1
1950~51	1326.80	-26.70	-2.0	0.7	94.5	-1.9
1951~52	1318.72	50.50	3.8	0.5	89.6	3.5
1952~53	1352.69	78.14	5.8	0.3	91.2	5.2
1953~54	1124.59	-3.11	-0.3	—	87.3	-0.3
1954~55	1289.87	51.11	4.0	0.5	85.0	3.4
1955~56	1398.85	135.06	9.7	0.1	85.8	8.3
1956~57	1561.53	121.20	7.8	0.2	89.2	6.9
1957~58	1292.22	34.32	2.7	0.7	94.8	2.5
1958~59	1422.05	16.42	1.2	0.9	87.6	1.0
1959~60	1443.65	98.25	6.8	0.2	85.3	5.8
1960~61	1437.76	161.16	11.2	0.05	91.3	10.2
1961~62	1556.39	174.36	11.2	0.05	87.7	9.9
1962~63	1564.84	166.39	10.6	0.05	95.0	10.1
1963~64	1519.41	96.00	6.3	0.3	100.8	6.4
宝川—初沢 T.-S.						
1948~49	1336.35	—	—	—	109.6	—
1949~50	1471.46	-86.66	-5.9	0.6	114.2	-6.7
1950~51	1194.84	—	—	—	108.9	—
1951~52	1439.51	-11.31	-0.8	—	109.9	-0.9
1952~53	1096.40	6.80	0.6	—	107.4	0.7
1953~54	1217.17	-177.67	-14.6	0.2	105.5	-15.4
1954~55	1369.73	-29.33	-2.1	0.8	106.3	-2.2
1955~56	1317.48	-35.18	-2.7	0.8	109.1	-2.9
1956~57	1077.94	200.56	18.6	0.2	111.4	20.7
1957~58	1045.71	25.09	2.4	0.9	106.7	2.6
竜の口山—南谷 T.-M.						
1944~45	49.65	54.91	110.5	0.01	18.6	20.5
1945~46	65.05	32.62	50.1	0.1	26.4	13.2
1946~47	51.73	15.29	29.6	0.3	20.1	6.1
1947~48	32.08	16.04	50.0	0.3	14.7	7.4
1948~49	72.40	50.18	69.3	0.02	23.4	16.3
1949~50	124.57	64.55	51.8	0.05	26.0	13.5
1950~51	72.80	40.12	55.1	0.05	21.7	12.0
1951~52	94.61	7.95	8.4	0.7	24.2	2.1
1952~53	52.29	-7.78	-14.9	0.6	21.0	-3.1
1953~54	53.89	12.16	22.6	0.4	21.7	5.0
1954~55	66.11	14.86	22.5	0.3	22.7	5.1
1955~56	58.03	14.63	25.2	0.3	19.8	5.0
1956~57	21.19	27.46	13.0	0.1	12.6	16.4
1957~58	52.18	17.90	34.3	0.2	21.3	7.3
1958~59	58.73	40.01	68.1	0.05	19.4	13.1
1959~60	40.20	35.87	89.2	0.05	17.1	15.4
1960~61	42.06	26.70	63.5	0.1	19.6	12.4

Table 25. (つづき) (Continued)

年 Year	冬期流出量 Winter season runoff			確 率 Probability	冬 期 流 出 率 Winter season runoff coefficient	
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %		期 待 Predicted %	変 化 Change %
1961~62	12.41	24.23	195.2	0.2	9.6	18.7
1962~63	24.89	4.23	17.0	0.8	12.5	2.1
1963~64	52.90	63.43	119.9	0.01	20.2	24.3
1964~65	39.01	33.72	86.4	0.05	18.1	15.7
竜の口山—北谷 T.-K.						
1945~46	109.78	- 5.99	- 5.5	0.9	44.4	- 2.4
1946~47	66.99	22.95	34.3	0.4	26.2	8.9
1947~48	32.46	31.74	97.8	0.2	14.9	14.5
1948~49	91.81	64.96	70.8	0.05	29.7	21.0
1949~50	156.86	96.43	61.5	0.1	32.7	20.1
1950~51	91.34	72.66	79.5	0.05	27.3	21.6
1951~52	115.20	33.41	29.0	0.4	29.5	8.6
1952~53	42.59	17.99	42.2	0.5	17.1	7.3
1953~54	38.59	47.66	123.5	0.1	15.6	19.1
1954~55	57.55	46.71	81.2	0.2	19.7	16.1
1955~56	71.51	12.63	17.7	0.6	24.4	4.3
1956~57	14.59	35.58	24.4	0.2	8.7	21.1
1957~58	39.63	31.81	80.3	0.3	16.1	13.0
1958~59	76.84	50.45	65.7	0.1	25.3	16.7
1959~60	39.71	14.52	36.6	0.6	16.9	6.2
1960~61	39.34	10.18	25.9	0.7	18.2	4.8
1961~62	20.88	2.00	9.6	—	16.2	1.5
1962~63	32.10	-12.73	-39.7	0.6	16.1	- 6.4
1963~64	54.08	41.24	76.3	0.2	20.7	15.8
1964~65	40.15	27.15	67.6	0.3	18.6	12.7
Wagon Wheel Gap-B						
1919~20	175.79	12.89	7.3	0.05	40.2	2.9
1920~21	148.23	31.53	21.3	0.001	37.2	7.9
1921~22	149.98	44.26	29.5	0.001	39.5	11.7
1922~23	131.16	23.14	17.6	0.01	37.9	6.7
1923~24	160.38	16.75	10.4	0.02	50.7	5.3
1924~25	92.16	10.02	10.9	0.1	27.7	2.9
1925~26	95.11	12.73	13.4	0.05	32.5	4.3

両流域では明らかに融雪期流出量は増加したと言ってよからう。

これに反して宝川・釜淵では減少した例数が多い。しかし全体にその信頼度は高くないので、必ずしも減少が確かとも言えないが、少なくとも増加したとは言えまい。ただし、釜淵の階段工期には減少の場合がなく、増加が明らかである。

上川・Wagon Wheel Gap でも各年の増加量・増加率を比べれば植被変化だけに完全に符合しないことは明りょうで、解析精度にも関係しようが、やはり気象条件の違いが影響していることが考えられる。釜淵・宝川、とくに後者でもきわめて有意な増加例もあり、植被変化以外の条件に左右されていることが明らかに考えられる。

(e) 夏期・冬期両流出量の期待量・変化量のそれぞれの合計量と年流出量の期待量・変化量との比較

森林がもし処理されなかった場合の処理期間における年・夏期・冬期各流出量の期待量は、それぞれ別個の推定回帰式により求められた。これら回帰式の精度が高ければ、年流出量の期待量は夏期・冬期流出量の期待量の合計値と一致するはずである。これらの一致が認められれば、この報告の検討の信頼度が高

Table 26. 処理期間における積雪期流出量の変化
Change in snowdrifting period runoff for treatment period

年 Year	積雪期流出量 Snowdrifting period runoff			確 率 Probability
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %	
上川—北谷 K.-K.				
1954~55	181.85	13.65	7.5	0.01
1955~56	244.31	20.99	8.6	0.01
1956~57	128.69	50.91	39.6	0.001
1957~58	184.34	18.36	10.0	0.01
1958~59	121.17	64.33	53.1	0.001
釜淵—2号沢 K.-2				
1947~48	464.56	17.21	3.7	0.7
1948~49	729.69	112.29	15.4	0.05
1949~50	556.49	47.90	8.6	0.3
1950~51	459.67	55.40	12.1	0.2
1951~52	522.37	71.72	13.7	0.2
1952~53	352.93	43.38	12.3	0.3
1953~54	529.97	83.43	15.7	0.1
1954~55	408.31	74.23	18.2	0.1
1955~56	549.99	100.80	18.3	0.05
1956~57	551.51	68.22	12.4	0.2
1957~58	482.05	54.66	11.3	0.3
1958~59	640.10	85.94	13.4	0.1
1959~60	577.75	97.88	16.9	0.1
1960~61	495.67	119.41	24.1	0.05
1961~62	613.90	112.93	18.4	0.05
1962~63	476.02	59.12	12.4	0.2
1963~64	659.38	90.04	13.6	0.1
宝川—初沢 T.-S.				
1948~49	289.44	—	—	—
1949~50	256.03	148.18	57.8	0.001
1950~51	239.49	—	—	—
1951~52	210.92	173.99	82.4	0.01
1952~53	204.91	— 12.44	— 6.1	0.7
1953~54	277.85	30.89	11.1	0.3
1954~55	233.06	— 1.51	— 0.6	0.9
1955~56	227.26	— 35.04	— 15.4	0.3
1956~57	249.98	— 30.99	— 12.4	0.3
1957~58	210.31	50.97	24.2	0.1
Wagon Wheel Gap-B				
1919~20	43.32	— 1.95	— 4.5	0.5
1920~21	49.67	12.16	24.5	0.01
1921~22	48.45	6.14	12.7	0.05
1922~23	49.07	1.66	3.4	0.6
1923~24	53.05	3.57	6.7	0.3
1924~25	49.03	3.10	6.3	0.3
1925~26	42.78	— 0.79	— 1.8	0.8

Table 27. 処理期間における融雪期流出量の変化
Change in snowmelting period runoff for treatment period

年 Year	融雪期流出量 Snowmelting period runoff			確 率 Probability
	期 待 Predicted mm	変 化 Change mm	変 化 率 Changing rate %	
上川—北谷 K.-K.				
1955	305.04	26.74	8.8	0.2
1956	353.50	82.96	23.5	0.01
1957	277.57	71.21	25.7	0.01
1958	309.03	85.08	27.5	0.01
1959	272.50	60.32	22.1	0.02
釜淵—2号沢 K.-2				
1948	795.8	-33.8	- 4.2	0.6
1949	645.2	-36.9	- 5.7	0.6
1950	637.9	-42.4	- 6.6	0.5
1951	851.8	-66.8	- 7.8	0.3
1952	770.6	4.5	0.6	—
1953	1003.9	30.6	3.0	0.6
1954	540.9	-32.8	- 6.1	0.7
1955	868.7	-10.3	- 1.2	0.9
1956	830.2	52.9	6.4	0.4
1957	1013.6	49.4	4.9	0.4
1958	786.8	3.0	0.4	—
1959	753.1	-40.7	- 5.4	0.5
1960	849.3	17.0	2.0	0.8
1961	936.8	47.0	5.0	0.4
1962	936.2	67.7	7.2	0.3
1963	1104.1	92.0	8.3	0.2
1964	841.8	24.2	2.9	0.7
宝川—初沢 T.-S.				
1949	983.19	-141.19	-14.4	0.2
1950	1132.53	-151.95	-13.4	0.2
1951	995.14	- 58.88	- 5.9	0.6
1952	999.24	44.05	4.4	0.7
1953	818.20	92.55	11.3	0.4
1954	844.21	-113.49	-13.4	0.4
1955	1139.45	- 30.59	- 2.7	0.8
1956	1118.29	- 28.22	- 2.5	0.8
1957	836.02	223.51	26.7	0.05
1958	923.16	-113.67	-12.3	0.4
Wagon Wheel Gap-B				
1920	133.21	14.10	10.6	0.01
1921	98.66	19.27	19.5	0.001
1922	101.71	37.94	37.3	0.01
1923	82.03	21.54	26.3	0.001
1924	107.41	13.10	12.2	0.01
1925	42.63	7.42	17.4	0.05
1926	52.18	13.67	26.2	0.01

いことの裏付けの一部となろう。前述したように、これら回帰式の精度はその有意性・相関係数がある程度高度なことから、かなりの一致が認められるはずである。

いま各流域別・水年別に、年流出量の期待量と夏期・冬期流出量の期待量合計との比（％）の範囲をとってみるとつぎようになる。

上川：98～104，釜淵：93～106，宝川：95～117，竜の口山—南谷：80～118，竜の口山—北谷：82～118
Wagon Wheel Gap：99～100。

ただし竜の口山—南谷では、47・60・74という極端に悪い3つの例があり、北谷では71という例が1か年ある。

釜淵では年流出量の期待量は12→11月の値であるのに、冬期・夏期流出量の期待量合計は11→10月の値で期間がくい違っているので、厳密には比較できない。竜の口山でも前同様にして1→12月と11→10月のくい違いがある。そして、前記の比の値の悪いことの一因となっている。Wagon Wheel Gap のように良好な基準流域があれば回帰式もよく、ここにいう一致もきわめて良好である。

他は回帰式の精度も十分に高度でないで、前記の程度の一致にとどまることは止むを得まい。

流域によって異なるが、年流出量のうち夏期流出分あるいは冬期流出分のどちらかが他よりもかなり大きく、したがってこの大きい方によって支配されることもこのような一致に近づく一因と考えられるが、いちおう満足できる結果で、この程度の一致であれば後述する程度の検討にはさしかえないと判断した。

処理期間における流出量の変化量も、年流出量のそれと冬期・夏期流出量のその合計値とが一致することが望ましい。しかし前述のとおり、推定値に誤差が考えられるので、全体的に一致はよくない。

しかし、年・冬期・夏期の各値が同時にきわめて有意である場合は一致が見られるはずである。そこで、各値が同時に比較的高度（70％信頼限界以上）で信頼できる年について、比（％）の範囲をとってみるとつぎのとおりである。

上川：92～108，釜淵：86～116，宝川：99～140，竜の口山—南谷：89～138，竜の口山—北谷：118～172，Wagon Wheel Gap：96～105。

十分な結果ではないが、ここにあげた範囲の両極値は例数が少ないことも考慮に入れば、ほぼ満足できよう。ただし竜の口山—北谷ではかなりくい違っており、変化量の解釈は慎重でなければならないと判断された。

（f） 積雪期・融雪期両流出量の期待量・変化量のそれぞれの合計量と冬期流出量の期待量・変化量との比較

前（e）項同様にして各流域別・水年別に、冬期流出量の期待量と積雪期・融雪期流出量の期待量の合計との比（％）の範囲をとると、つぎようになる。

上川：92～115，釜淵：95～101，宝川：84～108，Wagon Wheel Gap：99～100。

上川の92，115，釜淵の95，宝川の84，108など極端なものの例数は少ない。満足できる結果と言える。

また冬期流出量の変化量も積雪期・融雪期両流出量の、それらの合計値と一致するのが望ましい。両者を比較すると、Wagon Wheel Gap 以外は必ずしも一致はよくない。

Table 28. 処理期間における
Change in monthly runoff

年 Year	1 月流出量 January runoff			2 月流出量 February runoff			3 月流出量 March runoff		
	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
上川—北谷									
1954									
1955	25.70	6.82	0.05	17.38	6.04	0.01	19.12	15.83	0.001
1956	32.46	6.16	0.1	23.14	6.75	0.01	22.46	8.14	0.01
1957	30.45	0.67	0.9	23.13	1.66	0.4	19.94	5.33	0.1
1958	25.22	8.34	0.05	24.21	0.57	0.8	24.61	1.23	0.7
1959	8.34	20.99	0.05	20.82	2.65	0.2	19.14	5.22	0.1
釜淵—2 号沢									
1947									
1948	105.46	4.65	0.6	56.58	10.19	0.3	332.7	45.6	0.1
1949	202.64	28.60	0.05	192.50	18.45	0.7	141.0	35.4	0.2
1950	106.31	10.39	0.2	182.50	3.10	—	256.5	16.5	0.5
1951	45.42	-3.52	0.6	89.22	33.20	0.05	398.4	17.0	0.5
1952	65.74	4.38	0.6	39.50	0.13	—	262.2	64.1	0.02
1953	76.21	6.84	0.4	53.88	31.73	0.01	496.5	32.7	0.3
1954	61.12	4.39	0.6	162.82	22.61	0.5	241.1	21.3	0.3
1955	51.01	2.95	0.7	157.23	44.46	0.2	362.6	-5.3	0.8
1956	71.35	12.16	0.1	55.70	14.76	0.2	361.5	32.8	0.2
1957	82.99	6.40	0.4	56.90	-3.84	0.7	113.5	40.6	0.2
1958	102.03	19.72	0.05	111.89	20.87	0.3	307.4	16.3	0.5
1959	101.34	14.39	0.1	210.79	22.73	0.6	501.9	-29.8	0.3
1960	122.57	20.10	0.05	159.19	36.25	0.3	409.5	0.4	—
1961	51.38	5.60	0.4	69.17	24.89	0.05	298.9	96.2	0.01
1962	117.45	3.79	0.7	95.77	44.17	0.05	239.1	79.5	0.01
1963	59.30	-2.85	0.7	39.04	9.51	0.3	311.5	80.1	0.01
1964	157.25	10.46	0.3	42.23	17.33	0.1	245.6	54.6	0.05
宝川—初沢									
1948									
1949	166.78	-96.12	0.2	127.36	-38.77	0.4	88.4	-19.7	0.5
1950	73.35	-25.23	0.2	242.43	-141.53	0.3	188.4	-4.8	0.9
1951	46.84	-22.38	0.2	43.29	-8.92	0.6	231.2	36.1	0.3
1952	125.77	-65.08	0.2	63.53	-41.82	0.05	121.8	11.9	0.7
1953	21.09	13.76	0.5	8.50	18.52	0.4	135.1	63.5	0.05
1954	59.02	-24.52	0.1	80.39	-10.91	0.7	194.8	-7.1	0.8
1955	16.46	12.90	0.5	37.56	42.26	0.01	202.9	38.3	0.2
1956	30.51	5.66	0.8	15.32	11.57	0.6	259.3	15.0	0.6
1957	27.36	15.15	0.5	23.69	13.24	0.5	59.4	4.5	0.9
1958	81.66	-37.33	0.02	37.28	17.01	0.3	162.6	54.8	0.1
竜の口山—南谷									
1944									
1945	3.80	-0.18	—	3.49	1.87	0.2	24.06	32.68	0.001
1946	6.25	3.94	0.02	6.39	5.42	0.01	31.85	21.21	0.01
1947	9.44	14.24	0.001	9.14	-2.46	0.2	3.99	10.95	0.05
1948	2.85	0.75	0.4	7.54	-1.54	0.3	21.28	7.93	0.1
1949	6.55	8.21	0.01	6.26	4.39	0.05	24.44	35.16	0.001
1950	15.80	53.66	0.001	15.52	17.55	0.01	52.82	0.08	—
1951	8.06	4.90	0.02	9.63	11.17	0.01	12.59	26.07	0.001
1952	9.55	5.71	0.01	11.53	9.81	0.01	41.25	11.42	0.1
1953	5.19	-0.64	0.5	5.31	0.51	0.7	15.14	3.74	0.4
1954	9.56	4.23	0.02	9.45	-1.01	0.6	-1.30	21.32	0.01
1955	4.95	0.36	0.7	9.29	6.39	0.02	23.97	16.55	0.01

月流出量の変化

for treatment period

4 月流出量 April runoff			5 月流出量 May runoff			6 月流出量 June runoff		
期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility

K.-K.

63.78	71.79	0.01	279.07	-82.85	0.01	87.83	-10.39	0.3
61.50	91.27	0.001	266.37	17.32	0.5	49.45	30.73	0.01
82.09	62.62	0.01	252.08	-48.01	0.05	62.00	19.42	0.05
56.89	87.60	0.001	254.86	-5.24	0.8	72.82	20.76	0.02
128.06	60.86	0.01	165.73	-21.83	0.4	81.94	-19.53	0.05

K.-2

400.2	-73.8	0.1	60.45	-3.10	0.8	105.75	11.72	0.2
372.4	-33.3	0.4	90.13	2.63	0.8	30.11	11.49	0.2
294.6	-31.8	0.5	61.95	-2.33	0.8	129.90	10.41	0.3
385.8	-69.6	0.1	75.74	-22.24	0.05	34.93	6.14	0.5
457.3	-35.9	0.4	40.71	-13.31	0.2	79.11	14.30	0.2
488.4	-25.8	0.5	59.26	-16.53	0.1	81.68	12.38	0.2
149.3	-22.6	0.6	109.41	9.56	0.3	150.91	14.82	0.1
330.2	-32.1	0.4	168.92	34.16	0.01	313.41	42.80	0.01
368.5	2.4	—	98.89	19.01	0.1	235.72	-0.68	—
768.5	6.2	0.9	113.97	20.26	0.05	35.56	8.02	0.4
435.5	-11.0	0.8	40.21	1.44	—	16.60	2.43	0.8
186.1	-19.4	0.7	77.18	-3.54	0.7	61.79	5.10	0.6
364.9	-3.6	—	83.17	11.92	0.2	72.94	21.72	0.05
589.1	-48.0	0.2	54.77	-7.12	0.5	125.58	16.46	0.1
607.3	-10.7	0.8	84.54	-17.18	0.1	105.11	13.56	0.2
641.3	-4.3	0.9	158.84	8.66	0.4	131.93	13.59	0.2
545.0	-19.0	0.6	44.33	-4.53	0.7	59.09	15.47	0.1

T.-S.

482.91	-89.91	0.1	471.9	-91.6	0.4	91.0	-11.6	0.5
532.79	93.91	0.1	314.7	-144.4	0.2	68.3	139.9	0.001
552.72	-83.52	0.2	307.3	-107.4	0.4	90.2	-52.3	0.01
358.84	242.16	0.01	407.6	-99.0	0.4	99.8	-45.9	0.02
447.81	-43.51	0.4	401.1	-93.2	0.4	112.1	36.9	0.05
417.21	-24.21	0.7	7.5	141.5	0.3	124.3	24.8	0.2
512.34	45.56	0.4	325.7	-16.0	0.9	50.9	-7.0	0.7
544.05	-5.35	0.3	329.4	-52.4	0.7	80.2	3.8	0.8
382.62	288.58	0.001	308.2	17.2	0.9	129.7	-71.0	0.01
413.68	33.02	0.6	106.8	38.6	0.8	67.3	-35.3	0.05

T.-M.

30.52	-6.57	0.5	15.12	7.42	0.4	-6.68	10.04	0.7
-0.77	14.03	0.2	19.50	16.86	0.1	35.28	6.10	0.8
-9.19	68.86	0.05	39.02	77.99	0.001	125.41	-65.40	0.05
5.20	23.17	0.1	38.11	39.50	0.01	66.51	-46.38	0.1
28.28	2.07	0.8	13.11	3.35	0.7	13.49	-10.37	0.7
-5.43	15.14	0.2	23.19	10.29	0.2	88.18	31.79	0.2
-9.34	92.07	0.01	18.97	-0.08	—	55.06	-14.18	0.5
6.42	66.12	0.02	33.24	14.77	0.1	59.65	-48.63	0.1
7.38	79.18	0.02	23.70	13.24	0.2	100.45	57.66	0.05
13.58	-6.58	0.6	49.17	14.23	0.2	158.25	67.38	0.05
20.42	11.48	0.3	37.68	44.96	0.01	178.41	37.37	0.2
31.23	38.73	0.1	21.40	21.07	0.05	75.99	-37.12	0.2

Table 28. (つづき) (Continued)

年 Year	1 月流出量 January runoff			2 月流出量 February runoff			3 月流出量 March runoff		
	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
1956	7.87	5.43	0.01	7.49	-2.82	0.1	38.28	6.05	0.3
1957	4.81	-0.22	0.8	6.46	12.95	0.001	-7.34	14.63	0.05
1958	6.02	2.67	0.05	7.81	9.65	0.01	21.09	8.62	0.1
1959	7.07	7.80	0.01	11.44	36.39	0.001	10.13	14.47	0.01
1960	6.76	8.20	0.01	7.91	-2.41	0.3	9.19	-1.07	0.8
1961	4.80	5.56	0.01	6.50	8.99	0.01	17.21	9.15	0.05
1962	4.04	2.29	0.05	4.13	0.24	0.9	-11.12	15.68	0.05
1963	2.88	0.51	0.7	4.93	-1.54	0.3	9.09	-0.35	—
1964	8.33	15.91	0.001	9.94	39.14	0.001	6.17	18.90	0.01
1965	4.85	0.99	0.3	4.87	0.79	0.6	25.76	19.41	0.01
竜の口山—北谷									
1945									
1946	5.85	5.43	0.02	5.70	6.46	0.001	60.03	-4.65	0.8
1947	8.95	23.12	0.001	8.44	-0.80	0.5	16.35	2.99	0.9
1948	2.47	1.49	0.3	6.46	2.55	0.1	12.25	28.77	0.1
1949	6.00	12.74	0.01	6.61	9.92	0.01	44.70	24.63	0.1
1950	15.38	70.23	0.001	14.15	26.31	0.001	53.76	14.25	0.6
1951	7.56	11.64	0.01	9.60	22.69	0.001	16.57	31.70	0.1
1952	9.13	18.62	0.001	10.69	21.70	0.001	34.63	35.64	0.2
1953	4.75	-0.16	0.9	5.49	3.34	0.02	8.54	22.30	0.1
1954	9.03	10.45	0.01	8.64	2.68	0.1	-5.66	31.18	0.1
1955	4.59	0.09	—	8.54	17.10	0.001	13.39	35.87	0.1
1956	7.61	7.49	0.02	6.91	-2.19	0.1	27.49	29.20	0.2
1957	4.43	-1.34	0.4	5.87	18.23	0.001	-15.56	22.98	0.2
1958	5.66	2.52	0.2	6.96	12.84	0.001	8.13	25.77	0.2
1959	6.78	16.47	0.001	10.26	51.06	0.001	0.85	27.85	0.2
1960	6.42	7.40	0.001	7.38	-4.12	0.05	16.84	-6.43	0.6
1961	4.50	0.71	0.7	5.96	5.50	0.02	12.78	11.60	0.4
1962	3.69	0.16	0.9	4.05	-1.44	0.4	8.31	-5.69	0.8
1963	2.61	-0.62	0.8	4.84	-2.55	0.05	19.94	-12.41	0.4
1964	7.95	10.65	0.01	8.93	34.64	0.001	-8.03	29.78	0.2
1965	4.51	-0.17	0.9	4.60	0.62	0.7	24.98	20.12	0.2
Wagon Wheel									
1919									
1920	7.16	-0.49	0.4	6.68	-0.56	0.3	7.34	0.15	0.9
1921	7.82	0.73	0.3	7.25	0.85	0.2	9.06	8.80	0.001
1922	7.75	1.13	0.1	7.19	0.69	0.3	8.09	1.53	0.05
1923	8.10	0.17	0.8	7.39	-0.06	—	7.88	0.60	0.4
1924	8.14	0.47	0.5	7.71	0.3	0.7	7.99	0.98	0.2
1925	8.01	0.22	0.7	7.34	0.15	0.8	8.27	0.74	0.3
1926	7.05	-0.51	0.4	6.39	-0.39	0.5	7.25	0.15	0.9

4月流出量 April runoff			5月流出量 May runoff			6月流出量 June runoff		
期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
15.36	8.66	0.3	33.11	30.14	0.01	93.20	-18.94	0.4
27.71	50.27	0.05	24.31	8.95	0.3	79.51	-33.43	0.2
30.50	34.15	0.1	15.36	10.55	0.2	76.08	-59.29	0.05
0.34	32.72	0.1	33.71	34.58	0.01	53.43	-38.37	0.2
32.00	8.70	0.5	18.40	24.67	0.02	47.85	-17.40	0.5
31.37	27.65	0.1	16.95	10.37	0.2	74.96	-21.78	0.3
23.32	26.09	0.2	27.30	14.31	0.1	144.63	62.87	0.05
26.99	16.53	0.3	58.39	121.67	0.001	173.89	-20.86	0.5
16.26	74.59	0.02	3.62	6.26	0.5	63.53	-30.09	0.2
29.90	-5.78	0.5	60.07	82.71	0.001	133.39	-50.47	0.1

T.-K.

0.96	8.92	0.3	18.91	7.35	0.3	40.50	1.88	—
21.05	40.69	0.05	39.81	69.80	0.001	131.64	-54.41	0.05
19.46	16.12	0.1	38.84	49.02	0.001	72.08	-38.97	0.1
26.79	10.89	0.1	12.07	6.15	0.4	18.46	-14.16	0.5
-1.40	15.76	0.05	22.86	20.47	0.02	93.99	46.81	0.05
9.97	78.56	0.001	18.34	2.66	0.7	60.50	-5.29	0.8
25.73	56.79	0.01	33.63	25.27	0.01	65.15	-54.07	0.02
37.13	58.50	0.01	23.41	16.15	0.05	106.40	-56.67	0.02
1.96	7.80	0.3	50.69	33.18	0.01	163.83	80.96	0.01
28.89	14.16	0.1	38.38	52.91	0.001	185.13	31.04	0.2
41.45	32.41	0.05	20.95	25.54	0.01	81.67	-39.83	0.05
11.36	12.06	0.05	33.49	27.42	0.01	99.06	-17.11	0.4
44.21	34.19	0.02	24.07	5.61	0.5	85.23	-35.96	0.1
39.33	31.47	0.02	14.47	14.39	0.1	81.76	-51.21	0.05
20.98	15.38	0.05	34.14	39.86	0.001	58.85	-38.78	0.1
31.13	18.77	0.1	17.74	24.71	0.01	53.21	-23.52	0.3
36.16	21.21	0.05	16.19	7.52	0.3	80.62	-16.89	0.4
34.01	12.14	0.4	27.27	12.97	0.1	151.07	53.61	0.05
35.81	5.17	0.7	60.57	105.35	0.001	180.66	-47.23	0.1
39.87	42.52	0.01	1.90	4.67	0.6	74.12	-31.89	0.1
20.07	5.21	0.4	62.37	76.64	0.001	139.71	-49.25	0.05

Gap-B

9.81	4.28	0.05	87.40	14.44	0.02	35.46	-4.08	0.3
12.97	5.77	0.01	56.34	18.02	0.01	29.01	-4.18	0.3
11.39	10.50	0.001	63.48	28.99	0.001	26.45	-1.16	0.8
11.24	6.51	0.01	52.27	15.82	0.01	18.27	-0.54	0.9
18.09	7.47	0.01	62.76	15.81	0.01	19.83	-3.45	0.4
13.44	1.51	0.4	20.54	3.16	0.5	8.97	2.43	0.5
11.22	-0.01	—	29.16	11.76	0.05	13.59	-0.13	—

Table 28. (つづき) (Continued)

年 Year	7 月流出量 July runoff			8 月流出量 August runoff			9 月流出量 September runoff		
	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
上川—北谷									
1954							47.19	32.24	0.1
1955	80.27	40.35	0.1	223.88	- 8.83	0.7	86.95	43.75	0.05
1956	92.21	-29.72	0.2	92.30	23.98	0.3	14.13	41.00	0.05
1957	32.80	16.42	0.4	90.30	-15.94	0.5	68.73	28.41	0.05
1958	68.37	- 1.65	—	127.10	-14.62	0.5	34.76	31.98	0.05
1959	75.51	12.13	0.5	79.26	-24.65	0.3	44.12	24.30	0.1
釜淵—2号沢									
1947									
1948	122.53	34.00	0.01	120.55	23.56	0.01	138.84	27.04	0.1
1949	43.44	20.89	0.05	24.69	7.47	0.2	98.73	37.20	0.02
1950	135.41	7.08	0.4	10.19	-1.30	0.9	52.60	22.14	0.2
1951	29.96	17.97	0.05	14.82	-2.35	0.7	78.75	48.29	0.01
1952	204.71	35.53	0.01	235.40	17.94	0.02	105.49	12.13	0.4
1953	163.75	28.06	0.01	355.30	32.31	0.01	107.07	23.32	0.1
1954	81.03	6.58	0.4	4.98	-0.28	—	43.15	7.05	0.6
1955	79.42	5.95	0.5	41.54	7.75	0.2	81.30	26.22	0.1
1956	202.25	20.19	0.05	92.72	24.35	0.01	38.29	11.00	0.4
1957	262.51	24.12	0.02	76.90	11.27	0.1	63.56	14.61	0.3
1958	412.11	49.44	0.001	143.16	10.52	0.1	209.54	20.50	0.2
1959	349.93	2.72	0.8	138.60	3.43	0.6	107.72	13.81	0.3
1960	182.96	8.91	0.3	55.20	9.50	0.1	77.22	32.63	0.05
1961	327.71	12.49	0.2	95.58	32.67	0.001	141.86	29.76	0.05
1962	126.86	14.40	0.1	160.99	31.54	0.001	151.83	28.87	0.05
1963	279.84	14.36	0.1	113.61	16.26	0.02	173.46	27.26	0.1
1964	356.78	-12.10	0.2	33.04	5.20	0.01	281.80	38.25	0.05
宝川—初沢									
1948									
1949	33.6	11.2	0.7	14.39	9.81	0.3	176.02	20.79	0.3
1950	84.6	9.9	0.8	84.05	36.16	0.01	27.58	18.42	0.3
1951	43.4	22.1	0.5	4.83	12.95	0.2	-14.28	57.09	0.01
1952	138.9	29.9	0.3	60.78	22.50	0.05	22.10	38.57	0.05
1953	134.6	64.3	0.05	109.59	73.43	0.001	179.13	-18.66	0.3
1954	58.4	29.9	0.3	28.19	18.22	0.05	66.34	2.70	0.9
1955	27.5	45.4	0.2	11.58	9.02	0.3	52.08	34.01	0.1
1956	105.8	45.3	0.1	17.41	6.28	0.5	43.40	37.93	0.05
1957	143.4	21.5	0.5	54.56	69.23	0.001	94.49	19.83	0.3
1958	128.8	15.8	0.6	70.82	59.68	0.001	298.49	-26.49	0.2
竜の口山—南谷									
1944	3.66	- 1.91	—	-17.99	19.82	0.5	20.50	-16.86	0.6
1945	92.03	4.77	0.9	20.62	-10.49	0.7	101.64	21.98	0.5
1946	110.44	9.68	0.7	12.38	0.19	—	30.24	-21.26	0.5
1947	68.66	0.89	—	- 1.53	8.36	0.8	8.70	- 3.00	—
1948	82.57	-25.78	0.3	10.67	- 5.19	0.9	58.33	-15.67	0.6
1949	72.30	3.35	0.9	16.89	- 5.97	0.9	79.92	- 1.27	—
1950	11.79	- 2.13	—	6.73	0.43	—	50.42	-33.81	0.3
1951	148.47	79.78	0.05	0.81	6.72	0.9	35.00	-27.33	0.4
1952	148.90	58.85	0.1	23.17	3.47	0.3	53.50	-36.78	0.3
1953	86.92	55.76	0.05	33.33	-22.71	0.5	116.28	12.98	0.7
1954	112.94	83.44	0.02	51.08	-31.96	0.4	68.18	-26.99	0.4
1955	56.64	5.90	0.8	7.23	- 0.72	—	13.40	- 7.66	0.8

10月流出量 October runoff			11月流出量 November runoff			12月流出量 December runoff		
期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility

K.-K.

48.87	7.90	0.3	68.40	-17.70	0.3	38.29	15.63	0.01
121.19	15.31	0.2	91.32	17.30	0.3	54.76	2.84	0.6
46.42	10.93	0.2	37.67	20.95	0.2	34.97	4.78	0.3
55.91	49.51	0.001	62.45	7.84	0.6	41.08	7.17	0.2
42.95	21.34	0.01	45.58	17.83	0.2	37.06	7.84	0.1
44.84	14.36	0.05	40.68	8.87	0.6	35.84	5.05	0.3

K.-2

227.09	30.76	0.05	153.57	2.93	0.9	135.19	-11.26	0.5
80.26	26.02	0.05	154.12	14.53	0.3	252.24	-8.95	0.7
116.08	47.49	0.01	154.73	15.58	0.3	142.69	-9.25	0.6
104.92	39.77	0.01	133.55	10.71	0.4	191.83	-11.39	0.6
48.91	14.59	0.2	122.66	14.16	0.3	334.91	5.17	0.9
29.80	5.11	0.7	180.38	26.19	0.1	85.67	5.16	0.8
78.41	30.81	0.02	105.42	18.83	0.2	154.43	1.46	—
192.75	38.06	0.01	227.21	11.43	0.4	90.95	11.69	0.6
65.38	23.97	0.05	267.05	19.66	0.2	241.62	16.56	0.6
119.94	19.71	0.1	114.83	0.77	—	183.36	7.21	0.7
166.22	16.17	0.2	140.13	-1.95	—	172.44	-5.84	0.8
92.50	13.94	0.2	168.03	9.47	0.5	245.98	-7.37	0.8
56.04	22.34	0.1	105.49	26.25	0.1	163.61	-3.59	0.9
68.97	12.72	0.3	291.41	7.71	0.6	312.73	19.57	0.6
107.09	24.64	0.05	181.79	8.54	0.5	154.35	12.18	0.5
105.47	17.94	0.2	286.79	-6.38	0.7	225.46	14.35	0.6
109.44	11.99	0.3	206.81	26.15	0.1	236.09	5.65	0.9
						195.73	-16.96	0.4

T.-S.

54.01	5.39	0.8	133.3	10.1	0.8	140.38	27.22	0.7
72.28	26.35	0.2	70.3	111.4	0.01	143.61	-70.14	0.3
62.51	-1.11	—	89.4	40.6	0.2	65.53	11.20	0.6
45.83	22.84	0.3	23.4	155.2	0.001	115.08	8.85	0.8
55.47	12.46	0.6	82.2	8.8	0.8	55.43	-15.80	0.5
22.31	17.64	0.4	112.2	-0.7	—	93.93	-0.65	—
29.88	19.85	0.4	47.9	38.7	0.2	70.52	-34.79	0.2
175.06	17.11	0.5	59.4	9.5	0.8	66.81	-6.59	0.8
47.89	3.70	0.9	56.0	33.0	0.3	47.67	2.92	0.9
63.11	17.80	0.4	105.5	-42.6	0.2	73.00	26.73	0.2
134.96	35.64	0.1	118.0	-79.2	0.05	144.07	-15.11	0.8

T.-M.

7.03	14.94	0.3	32.25	-3.01	0.8	7.50	2.10	0.5
36.76	219.93	0.001	-0.96	13.49	0.2	0.56	9.52	0.05
17.79	6.09	0.6	15.50	-6.94	0.4	5.93	7.22	0.1
20.61	-15.03	0.3	-6.60	10.42	0.3	0.45	5.04	0.2
28.61	47.42	0.01	26.18	1.11	0.9	17.08	-6.79	0.2
34.36	8.69	0.5	18.82	-10.70	0.3	15.50	10.08	0.05
22.64	-13.74	0.3	23.11	5.24	0.7	10.89	1.26	0.7
27.42	-19.48	0.2	6.27	0.87	—	8.88	-2.72	0.4
28.54	-21.50	0.1	14.93	-4.73	0.6	7.72	-2.66	0.4
23.59	-13.55	0.3	7.33	2.86	0.8	5.96	7.65	0.05
32.97	-20.20	0.2	0.91	7.80	0.5	6.92	3.82	0.3
31.01	-23.38	0.1	0.73	5.22	0.6	0.60	3.80	0.3

Table 28. (つづき) (Continued)

年 Year	7月流出量 July runoff			8月流出量 August runoff			9月流出量 September runoff		
	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
1956	14.21	23.05	0.3	24.01	-14.87	0.6	51.95	-4.38	0.9
1957	113.56	45.14	0.1	22.60	5.66	0.9	76.88	-23.86	0.4
1958	0.39	24.30	0.3	9.44	-3.50	0.9	12.24	-6.42	0.8
1959	35.07	-25.69	0.3	-2.10	6.04	0.9	50.94	-13.92	0.6
1960	65.73	14.57	0.5	45.68	26.01	0.4	39.15	0.66	—
1961	59.77	58.60	0.05	4.32	3.41	0.9	43.25	-23.15	0.4
1962	56.12	58.46	0.05	8.33	-1.04	—	-6.88	12.46	0.7
1963	23.67	26.42	0.3	62.42	27.08	0.4	37.93	11.07	0.7
1964	58.44	-12.34	0.6	6.83	-0.20	—	61.32	-38.23	0.2
1965									
竜の口山—北谷									
1945	102.22	3.77	0.9	21.14	-3.32	0.9	114.48	26.48	0.3
1946	122.79	21.50	0.3	5.27	4.91	0.9	31.90	-22.55	0.4
1947	76.08	6.47	0.8	-0.93	6.68	0.8	6.52	-1.67	0.5
1948	91.64	-37.47	0.1	18.64	-8.78	0.8	64.46	-4.49	0.9
1949	80.16	1.86	—	13.75	-4.14	0.9	88.90	6.38	0.8
1950	12.50	-3.56	0.9	15.43	-5.20	0.9	54.23	-27.08	0.3
1951	165.33	91.44	0.01	-3.28	8.24	0.8	37.82	-31.14	0.3
1952	165.80	74.92	0.02	18.01	7.33	0.8	59.58	-41.89	0.2
1953	96.50	60.52	0.02	19.51	-13.19	0.7	130.97	31.63	0.3
1954	125.60	68.22	0.02	38.54	-16.50	0.6	76.37	-17.01	0.5
1955	62.65	3.27	0.9	14.64	-10.85	0.7	12.13	-8.97	0.7
1956	15.19	17.44	0.4	28.19	-20.06	0.5	56.28	4.06	0.9
1957	126.28	29.25	0.2	23.88	-0.01	—	86.22	-25.21	0.3
1958	-0.25	23.60	0.3	22.50	-16.69	0.5	10.26	-4.76	0.9
1959	38.52	-26.73	0.2	4.88	-1.66	—	54.89	-24.77	0.4
1960	72.81	-1.67	—	55.62	10.57	0.7	43.02	-12.25	0.7
1961	66.14	24.34	0.2	8.50	-5.04	0.9	46.41	-27.82	0.3
1962	62.07	46.83	0.05	4.86	-1.86	—	-11.61	13.71	0.6
1963	25.78	6.61	0.7	65.20	2.10	—	41.02	-6.91	0.8
1964	64.66	-19.50	0.3	14.28	-10.75	0.7	67.36	-35.50	0.2
1965									
Wagon Wheel									
1919	10.33	-1.15	0.3	7.18	0.17	0.8	6.59	0.27	0.7
1920	10.70	0.73	0.5	7.95	0.70	0.4	7.46	0.94	0.2
1921	11.23	1.28	0.3	8.92	1.16	0.2	7.88	1.38	0.05
1922	9.79	1.07	0.4	8.60	1.02	0.2	7.35	0.69	0.3
1923	9.48	0.26	0.8	8.11	0.84	0.3	8.18	1.05	0.2
1924	9.45	0.45	0.7	7.13	0.93	0.2	6.96	1.49	0.05
1925	7.46	1.15	0.4	6.53	1.30	0.1	6.57	0.62	0.4
1926	8.21	-0.08	—	6.41	0.07	—	5.81	-0.03	—

10月流出量 October runoff			11月流出量 November runoff			12月流出量 December runoff		
期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility	期 待 Pre- dicted	変 化 Change	確 率 Proba- bility
26.10	-23.37	0.1	- 3.56	16.22	0.2	- 2.82	7.52	0.1
26.15	- 2.72	0.8	- 1.20	8.81	0.4	0.04	6.58	0.1
19.64	-11.91	—	5.17	0.85	—	4.48	0.95	0.8
9.91	10.93	0.4	9.45	18.10	0.1	9.07	10.86	0.02
37.51	7.30	0.6	9.14	0.70	—	0.17	6.55	0.1
12.81	47.54	0.01	5.44	8.92	0.4	5.89	1.14	0.7
3.98	4.88	0.7	12.95	- 6.68	0.4	6.57	0.76	0.8
32.24	2.01	0.9	3.25	6.47	0.5	4.77	3.45	0.3
24.17	- 5.38	0.7	4.08	6.68	0.5	5.43	- 0.12	—

T.-K.

71.31	184.49	0.001	18.38	- 5.05	0.7	0.81	10.83	0.02
7.44	39.40	0.02	12.62	- 1.27	0.9	6.17	13.38	0.01
19.96	-14.43	0.3	-18.84	22.30	0.1	0.69	6.07	0.1
54.67	44.53	0.02	34.70	3.16	0.7	16.14	- 1.82	0.7
31.63	21.39	0.1	21.35	-11.32	0.2	15.01	34.18	0.001
30.07	-15.78	0.2	25.27	21.03	0.05	10.70	7.24	0.05
35.46	-24.87	0.2	1.98	8.36	0.4	8.64	- 0.78	0.8
23.41	-17.80	0.2	10.41	1.45	0.9	7.27	- 2.82	0.3
9.02	- 2.08	0.9	8.77	3.05	0.7	6.10	12.02	0.01
7.08	5.07	0.7	3.87	6.10	0.5	6.72	7.99	0.05
33.56	-27.69	0.1	- 2.46	7.29	0.4	0.91	1.89	0.5
27.49	-14.75	0.2	- 2.33	15.30	0.1	- 2.28	4.87	0.2
36.88	-17.46	0.2	- 5.55	10.49	0.3	0.45	4.16	0.2
20.04	- 9.23	0.4	0.85	6.58	0.4	4.47	2.12	0.5
24.44	-14.13	0.2	6.87	8.14	0.3	8.93	2.81	0.4
56.75	-22.47	0.2	- 2.39	7.54	0.4	0.44	2.88	0.4
17.46	37.45	0.01	5.18	5.08	0.6	5.52	- 1.98	0.5
-29.77	34.62	0.1	- 4.07	7.48	0.5	6.53	- 2.37	0.4
31.41	-3.01	0.08	- 4.63	10.77	0.3	4.37	0.91	0.8
27.85	-5.92	0.6	6.91	2.36	0.8	4.98	- 1.60	0.6

Gap-B

7.35	- 0.10	—	7.42	- 0.53	0.4	7.46	- 0.51	0.5
8.51	0.72	0.7	8.16	1.00	0.2	7.97	0.96	0.2
8.71	1.39	0.4	8.18	1.13	0.1	8.04	0.76	0.3
8.53	0.38	0.9	8.35	0.54	0.4	8.24	0.61	0.4
10.53	0.96	0.6	9.35	1.09	0.1	8.61	0.49	0.5
8.49	1.24	0.5	8.13	0.80	0.2	8.14	0.60	0.4
7.45	0.40	0.8	7.38	- 0.12	0.9	7.42	- 0.48	0.3

前(e)項同様にして各値が同時に高い信頼度にある年について、比(%)の範囲をとるとつぎのようである。

上川：57～140，釜淵：91～104，宝川：96，Wagon Wheel Gap：100～105。

上川・釜淵は必ずしも一致が良くない。したがってくい違いが大きいものについては、変化量の解釈は慎重でなければならないと判断された。

V-2-4. 月流出量

Table 28 で有意性のかなり低いものも多数含まれているが、この表からおおよそつぎのことが言えよう。

(i) 上川—北谷

5月・8月に減少の年が多い。前者は融雪後期，後者は盛夏期にあたる。他の月は増加傾向であるが、とくに融雪前期の4月，秋期の9月・10月に増加が明りょうであること，7月は増・減とも現われ，中間的な傾向があることが認められる。

(ii) 釜淵—2号沢

融雪後期の4月は、ほとんどの年に減少であることがきわだっている。5月にも減少がかなりみられ、かつ増加の場合もその量は夏期より小さい。6月の増加量も全般に小さい。これに対して融雪期前期の2月・3月，秋期の9月・10月の増加が安定し、それらの量も全般に大きいことがめだつ。他の月では減少の場合があるとか、増加量の小さいものがあるなど変化が不安定で、前2者の中間的傾向がみられる。その中で盛夏の8月は増・減ともにあり、かつ変化量の変動が激しい。また階段工期に2月・3月の増加に対し、4月・5月の減少がはっきりと対照的であることが指摘できる。

(iii) 宝川—初沢

夏期の7～9月，ついで秋の10月・11月に増加が安定しているが、融雪期後期の4～6月に減少の場合が多い。他の月は増・減ともにあり、変動が前2者より大きい。しかし全般に変動が激しく、他の流域に比べて月による差違が明りょうでない。

(iv) 竜の口山—南谷・北谷

4月・5月は減少の例はきわめて少ないかあるいは無く、しかも有意な大きい増加が多くみられる。とくに北谷で多いことが指摘できる。ついで1～3月も有意な増加が多い。

これらに対して6～10月では減少の場合もきわめて多く、全般的に変化の各年間の増減変動が激しいことが認められる。とくに8～10月は増加の例がきわめて少ないことが注目される。

(v) Wagon Wheel Gap-B

4月・5月の有意な増加、とくに融雪前期の5月の大きな増加がみられ、ついで3月にも同様に増加傾向が強い。

これらに対して、融雪後期の6月の明らかな減少傾向がきわだっている。8月は全年に増加であること、第1年と最終年に他の年よりも小さい増加量か、あるいは減少であることが認められる。

上川・Wagon Wheel Gap では多くの月で、年流出量の場合に似た植被変動との経年的符合が認められ、また気象条件との関連も推定された。釜淵では特定の月、たとえば3月・4月などで、植被変動と処理分期の平均変化量との間に符合関係が認められるが、他の月では明りょうではない。気象条件その他による影響が大きいとめと考えられる。宝川・竜の口山では植被変動との符合関係は明らかでなく、気象条

件その他の影響がより強いと考えられる。

(vi) 月流出量の変化量の処理分期間・季節別平均値と季節流出量の処理分期間別平均値との比較

処理期間における月流出量の変化量は、年あるいは季節流出量のそれらとは独立に、別個の推定回帰式により求めた期待量と実測量の差である。

もしすべての推定回帰式の精度がきわめて高ければ、月流出量の変化量を年あるいは季節内で合計すれば、別個に求めた年あるいは季節内の変化量と一致するはずである。前述のように月流出量の推定回帰式の中には精度のかなり低いものが含まれている。したがって、当然十分な一致は期待できない。しかしある程度の類似がなければ、月流出量の変化量を求めて検討する意義は小さいことになる。そこで変化量について概略の類似傾向をみるため、つぎの方法で検討した。ただし、期待量の類似程度については、検討を省略した。

Table 29. 処理全期間あるいは各分期間における月流出量の変化量の季節別平均値と季節流出量の変化量の平均値との比較

Comparison between mean changing amount of monthly runoff by season and one of seasonal runoff for each part period or whole treatment period

流域 Watershed	処 理 期 間 Treatment period	夏 期 Summer season	冬 期 Winter season	積 雪 期 Snow- drifting period	融 雪 期 Snow- melting period
上川—北谷 K.—K.	全期 Whole period	{ 61.0	82.3	35.6	46.7
		{ 44.9	113.8	33.7	65.3
釜淵—2号沢 K.—2	下刈期 Weeding period	{ 104.1	21.1	34.4	-13.3
		{ 101.1	-4.3	54.6	-34.9
	火入期 Burning period	{ 81.7	56.2	49.0	7.2
		{ 83.0	66.4	80.7	8.6
	階段工期 Terracing period	{ 92.8	99.7	47.6	52.1
宝川—初沢 T.—S.	択伐期 Selection cutting period	{ 93.1	149.5	95.4	57.7
		{ 111.8	-90.1	-24.0	-66.1
	放置期 No re-treatment period	{ 58.8	-30.4	103.2	-43.0
		{ 79.6	111.9	-2.5	114.4
竜の口山—南谷 T.—M.	皆伐後放置期 No re-treatment period	{ 65.8	-3.3	11.3	-12.0
		{ 94.4	35.2		
	下刈植栽期 Weeding and planting period	{ 75.1	25.6		
		{ 2.5	40.1		
	山火下刈植栽期 Fire, regrowth, weeding and planting period	{ 79.8	22.9		
		{ 110.1	25.6		
	山火後放置期 No re-treatment period after fire	{ 120.2	28.9		
竜の口山—北谷 T.—K.	放置前半期 First half of no re-treatment period	{ 69.8	39.5		
		{ 120.3	33.7		
	放置後半期 Second half of no re-treatment period	{ 84.9	72.1		
		{ 111.1	51.4		
	溪岸伐採期 Riparian cutting period	{ 9.1	44.9		
Wagon Wheel Gap-B	全期 Whole period	{ 30.1	22.4		
		{ 13.6	32.5		
		{ 90.5	18.5		
		{ 2.3	22.9	3.8	19.0
		{ 2.0	21.6	3.4	18.1

注) 上段は季節流出量の変化量の平均値、下段は月流出量の変化量の季節別平均値を示す。

Values in upper row are mean changing amounts of seasonal runoff, in lower row mean changing amounts of monthly runoff by season respectively.

Table 30. 処理期間における増水量の変化
Change in quickflow for treatment period

番号 No.	年 Year	月 Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	番号 No.	年 Year	月 Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
釜淵-2号沢 K.-2													
1	1948	7	27.87	3.57		0.8	80	1954	5	26.13	0.34		—
2		7	7.01	-1.63		0.9	81		5	20.83	3.76		0.7
3		8	6.87	-1.13		0.9	82		5	8.75	-2.04		0.9
4		9	151.68	-4.61		0.7	83		6	25.36	6.19		0.6
5		9	11.26	-0.35		—	84		6	25.92	2.93		0.8
6		10	128.51	48.30	37.6	0.001	85		6	14.61	4.61		0.7
7		10	152.66	28.92	18.9	0.01	86		6	47.69	3.56		0.8
8	1949	5	6.45	0		—	87		7	1.70	5.22		0.6
9		6	21.73	2.83		0.8	88		7	3.24	4.60		0.7
10		7	38.69	-5.73		0.6	89		7	1.21	2.51		0.8
11		7	13.85	0.21		—	90		7	17.27	8.01		0.5
12		7	3.94	-0.16		—	91		7	35.55	-22.75	-64.0	0.05
13		8	7.70	-4.95		0.7	92		9	18.87	-14.93		0.2
14		9	45.25	-4.88		0.7	93		9	35.62	-21.20	-59.5	0.05
15		9	20.06	-5.84		0.6	94		9	38.90	-10.15		0.3
16		9	51.53	0.80		—	95		10	22.64	2.14		0.9
17		9	28.50	11.68		0.3	96		10	29.06	4.41		0.7
18		10	0.87	2.85		0.8	97		10	58.23	6.25		0.6
19		10	1.84	5.07		0.7	98		11	33.46	4.13		0.7
20		10	11.75	4.95		0.7	99	1955	5	41.48	5.65		0.6
21		11	121.32	24.69	20.4	0.02	100		5	58.93	0.51		—
22		11	38.48	3.70		0.8	101		6	24.18	-2.75		0.8
23	1950	5	56.42	-11.15		0.3	102		6	40.30	10.04		0.4
24		6	42.88	6.52		0.6	103		7	17.06	-13.80		0.2
25		6	50.84	11.32		0.3	104		8	15.73	-11.61		0.3
26		7	14.13	-3.06		0.8	105		8	50.70	-18.11	-35.7	0.1
27		7	71.14	11.26		0.3	106		8	32.41	-18.72	-57.8	0.1
28		7	23.62	7.32		0.5	107		9	24.44	-1.97		0.9
29		8	14.61	-12.66		0.2	108		9	80.70	-3.53		0.8
30		8	23.90	-19.22	-80.4	0.1	109		11	195.23	50.71	26.0	0.001
31		9	16.92	-10.79		0.3	110	1956	5	2.47	0.32		—
32		9	19.85	-9.27		0.4	111		5	6.44	-3.91		0.7
33		9	6.73	-2.82		0.8	112		5	33.53	6.10		0.6
34		10	131.93	12.66		0.3	113		6	35.83	-2.35		0.9
35		10	56.98	0.72		—	114		6	7.64	1.63		0.9

36	1951	5	13.71	4.15		0.7	115	6	46.93	11.08		0.3
37		6	13.29	3.51		0.8	116	6	76.10	29.63	38.9	0.01
38		7	5.96	3.40		0.8	117	7	8.96	- 5.91		0.6
39		7	16.78	2.86		0.8	118	7	171.08	40.70	23.8	0.001
40		8	3.03	- 2.25		0.9	119	8	78.54	- 6.06		0.6
41		9	63.19	- 9.70		0.4	120	8	22.08	- 1.98		0.9
42		9	39.32	3.52		0.8	121	9	34.57	-19.37	-56.0	0.05
43		9	4.01	- 0.41		—	122	9	25.22	1.80		0.9
44		9	6.03	3.39		0.8	123	11	49.44	9.97		0.4
45		10	0.80	4.40		0.7	124	5	24.04	2.05		0.9
46		10	3.66	2.04		0.9	125	6	40.79	- 4.19		0.7
47		10	32.13	7.71		0.5	126	7	171.57	41.20	24.0	0.001
48		10	0.87	4.20		0.7	127	7	19.78	1.33		0.9
49		10	39.18	15.89		0.2	128	7	18.31	3.01		0.8
50		11	74.56	10.29		0.3	129	7	11.89	- 0.18		—
51	1952	5	12.94	- 6.35		0.6	130	7	4.49	- 0.96		—
52		5	10.50	- 6.70		0.5	131	8	25.50	- 8.00		0.5
53		6	22.64	4.28		0.7	132	8	8.47	- 1.00		—
54		6	3.80	- 0.55		—	133	8	24.94	-15.91		0.2
55		6	9.87	- 1.23		0.9	134	8	47.07	- 2.71		0.8
56		7	64.65	3.79		0.7	135	9	32.13	- 3.99		0.7
57		7	76.94	22.74	29.6	0.05	136	9	3.94	- 0.05		—
58		8	114.13	19.56	17.1	0.1	137	9	28.78	- 6.35		0.6
59		8	57.88	10.56		0.3	138	9	3.94	0.82		—
60		8	126.07	6.07		0.6	139	10	41.06	- 7.36		0.5
61		9	70.93	15.94		0.2	140	10	47.83	2.00		0.9
62		9	8.75	0.41		—	141	10	31.36	- 8.52		0.4
63		10	5.47	0.92		—	142	5	3.24	2.10		0.9
64		10	7.36	4.55		0.7	143	7	78.40	-19.61	-25.0	0.05
65		11	7.57	4.98		0.7	144	7	358.26	102.61	28.6	0.001
66		11	4.63	1.56		0.9	145	8	113.99	- 0.20		—
67	1953	5	22.78	- 8.89		0.4	146	9	4.08	2.29		0.9
68		6	70.52	15.25		0.2	147	9	21.52	7.76		0.5
69		7	19.29	-16.34	-84.7	0.1	148	9	6.87	3.31		0.8
70		7	17.48	- 6.48		0.6	149	9	49.79	16.26	32.7	0.1
71		7	131.09	35.76	27.3	0.001	150	9	18.38	5.59		0.6
72		8	28.22	-16.87	-59.7	0.1	151	9	45.25	13.83		0.2
73		8	269.07	98.95	36.8	0.001	152	10	6.52	1.51		0.9
74		9	8.75	- 4.04		0.7	153	10	104.90	15.74		0.2
75		9	43.65	14.46		0.2	154	10	28.15	2.30		0.9
76		9	43.93	10.39		0.3	155	11	10.36	5.38		0.6
77		10	5.68	3.44		0.8	156	11	30.95	16.12		0.2
78		11	28.50	8.28		0.4	157	11	26.06	9.08		0.4
79		11	41.48	11.55		0.3						

Table 30. (つづき) (Continued)

番号 No.	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	番号 No.	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
竜の口山—北谷 T.-K.											
1	1945	5	1.07	0.29	—	153	5	4.30	— 3.01		0.7
2		5	9.93	0.88	—	154	5	21.80	1.26		0.9
3		6	7.79	— 3.15	0.7	155	6	9.07	— 7.78		0.4
4		6	13.21	— 1.21	0.9	156	6	2.88	— 2.42		0.8
5		6	13.35	1.58	0.9	157	6	2.71	— 1.92		0.8
6		6	0.17	0.22	—	158	7	27.34	5.05		0.6
7		7	1.18	— 0.71	—	159	7	126.84	90.62	71.4	0.001
8		7	1.54	— 1.09	0.9	160	9	1.05	— 0.62		—
9		7	39.83	13.65	34.3	161	9	20.90	—19.26	—92.2	0.02
10		7	10.64	— 3.40	0.7	162	9	3.66	— 3.25		0.7
11		7	12.68	13.41	105.7	163	9	1.10	— 0.76		—
12		8	1.57	— 1.23	0.9	164	10	23.17	—19.24	—83.0	0.02
13		8	17.95	—16.16	—90.0	165	10	4.14	— 3.39		0.7
14		9	1.94	1.28	0.9	166	11	5.79	— 4.00		0.6
15		9	15.25	2.89	0.7	167	11	5.73	— 1.92		0.8
16		9	32.14	16.67	51.9	168	12	2.65	0.34		—
17		9	4.90	3.20	0.7	169	1	18.76	2.60		0.8
18		9	20.01	9.95	0.2	170	2	10.65	2.68		0.8
19		10	2.12	2.51	0.8	171	3	24.82	11.78		0.2
20		10	3.11	— 2.10	0.8	172	3	4.77	6.72		0.4
21		10	3.36	11.71	0.3	173	3	5.14	7.84		0.3
22		10	1.08	4.20	0.6	174	4	8.47	8.47		0.3
23		12	0.62	1.08	0.9	175	4	5.37	— 0.10		—
24	1946	1	3.12	— 1.01	0.9	176	4	12.60	11.46		0.2
25		3	11.02	— 2.48	0.8	177	4	7.68	3.52		0.7
26		3	0.18	2.18	0.8	178	4	7.10	6.14		0.5
27		4	4.65	2.11	0.8	179	5	10.51	6.98		0.4
28		4	23.35	12.39	0.2	180	5	3.04	— 2.14		0.8
29		5	46.92	20.39	43.5	181	5	9.80	— 6.17		0.5
30		5	12.96	11.72	0.2	182	6	34.45	7.54		0.4
31		5	1.68	— 1.12	0.9	183	7	72.19	52.44	72.6	0.001
32		6	7.44	— 5.46	0.5	184	7	61.79	31.40	50.8	0.001
33		6	14.91	— 4.35	0.6	185	7	11.89	4.11		0.6
34		6	33.74	11.57	0.2	186	7	24.89	3.02		0.7
35		7	12.68	0.69	—	187	8	7.15	— 6.78		0.4

36	7	38.82	25.74	66.3	0.001	188	8	12.44	3.49		0.7
37	8	8.87	- 8.29		0.3	189	9	1.34	- 1.02		0.9
38	8	3.68	- 3.63		0.7	190	9	45.61	-32.16	-70.5	0.001
39	9	19.21	-17.23	-89.7	0.05	191	10	7.51	- 6.66		0.4
40	9	9.30	- 6.79		0.4	192	11	18.17	-10.85		0.2
41	10	5.77	- 3.02		0.7	193	11	1.29	- 0.76		—
42	10	33.49	3.97		0.6	194	2	6.30	1.87		0.9
43	11	1.48	0.46		—	195	3	6.81	- 0.28		—
44	11	9.31	- 5.29		0.5	196	3	7.66	4.72		0.6
45	12	5.91	1.26		0.9	197	4	2.51	- 0.25		—
46	12	7.97	- 2.16		0.8	198	4	0.91	- 0.15		—
47	1	6.03	5.78		0.5	199	5	23.04	3.09		0.7
48	1	3.69	3.07		0.7	200	5	31.76	11.84		0.2
49	3	4.13	1.25		0.9	201	6	109.32	74.21	67.9	0.001
50	4	0.79	3.84		0.7	202	6	3.57	- 0.50		—
51	4	16.01	3.04		0.7	203	6	40.94	27.65	43.1	0.05
52	5	3.84	- 0.35		—	204	1	8.05	1.91		0.8
53	5	38.51	18.21	47.3	0.02	205	3	11.08	7.65		0.4
54	5	8.12	1.51		0.9	206	4	2.84	- 0.33		—
55	6	2.92	- 1.96		0.8	207	4	17.20	9.88		0.2
56	6	13.12	11.94		0.2	208	4	3.40	- 0.78		—
57	6	9.03	2.07		0.8	209	5	25.83	3.90		0.7
58	7	34.30	16.35	47.7	0.05	210	5	15.39	0.37		—
59	7	24.37	- 1.51		0.9	211	5	22.29	12.17		0.2
60	8	2.96	- 2.41		0.8	212	6	9.42	0.34		—
61	8	0.62	- 0.12		—	213	6	42.80	- 0.18		—
62	9	2.00	- 1.73		0.9	214	7	199.55	128.83	64.6	0.001
63	9	2.03	- 1.76		0.9	215	7	9.22	- 6.85		0.4
64	9	6.02	- 5.70		0.5	216	8	8.56	- 5.19		0.5
65	10	3.10	- 2.19		0.8	217	8	1.57	- 1.25		0.9
66	12	2.19	0.43		—	218	8	30.97	-13.88	-44.8	0.1
67	2	3.12	- 0.37		—	219	9	7.26	- 0.30		—
68	2	1.19	1.81		0.9	220	9	1.53	- 1.17		0.9
69	3	5.61	2.12		0.8	221	9	44.35	- 5.35		0.5
70	3	20.64	4.55		0.6	222	11	17.95	-12.57	-70.0	0.1
71	4	1.10	1.15		0.9	223	12	8.64	0.82		—
72	4	6.05	6.32		0.5	224	2	0.53	0.97		0.9
73	4	13.80	0.52		—	225	2	1.41	1.43		0.9
74	5	13.80	- 1.12		0.9	226	2	9.34	10.82		0.2
75	5	0.20	0.67		—	227	3	3.24	5.81		0.5
76	6	1.83	- 1.42		0.9	228	3	23.62	7.68		0.4
77	6	0.77	- 0.53		—	229	4	36.57	25.46	69.6	0.01

Table 30. (つづき) (Continued)

番号 No.	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	番号 No.	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount mm	変 化 量 Changing amount mm	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
78	6	8.27	- 7.28		0.4	230	5	15.42	1.92		0.8
79	7	3.16	- 2.81		0.8	231	5	8.29	- 2.59		0.8
80	7	38.77	- 5.85		0.5	232	5	13.43	- 2.52		0.8
81	7	1.82	- 1.65		0.9	233	6	32.74	3.79		0.7
82	7	12.96	2.38		0.8	234	7	49.90	9.74		0.5
83	8	30.96	-24.51	-79.2	0.01	235	7	7.13	- 6.23		0.5
84	9	27.12	- 0.35		0.8	236	8	23.53	-21.93	-93.2	0.01
85	9	2.14	- 1.36		0.9	237	9	5.64	- 5.14		0.5
86	9	22.79	6.13		0.5	238	9	10.64	- 9.87		0.2
87	10	1.41	- 1.14		0.9	239	10	3.53	- 3.22		0.7
88	10	47.47	36.64	77.2	0.001	240	10	17.22	-14.07	-81.7	0.1
89	11	17.08	- 2.97		0.7	241	11	1.15	- 0.90		—
90	11	12.14	4.40		0.6	242	11	7.51	- 5.30		0.5
91	12	0.18	2.93		0.7	243	1956 1	9.83	- 5.84		0.5
92	12	4.39	5.49		0.5	244	1	11.92	- 3.01		0.7
93	1949 2	5.28	3.00		0.7	245	3	7.04	3.72		0.7
94	3	30.09	20.00	66.5	0.01	246	3	35.83	8.39		0.3
95	4	0.58	0.94		0.9	247	4	8.23	3.99		0.6
96	4	0.63	0.64		—	248	5	8.52	- 6.34		0.4
97	5	0.80	3.20		0.7	249	5	7.63	2.28		0.8
98	5	5.26	- 2.12		0.8	250	5	19.40	-16.80	-86.6	0.05
99	5	20.24	0.45		—	251	6	6.83	3.51		0.7
100	6	23.90	1.99		0.8	252	6	22.75	12.28		0.2
101	6	64.15	32.67	50.9	0.001	253	6	5.40	- 1.28		0.9
102	6	8.94	- 1.38		0.9	254	6	41.46	3.50		0.7
103	7	24.58	11.75		0.2	255	8	1.62	- 1.50		0.9
104	7	47.16	-14.22	-30.2	0.1	256	8	0.46	- 0.40		—
105	8	15.53	-13.28	-85.5	0.1	257	8	14.66	-14.01	-95.6	0.1
106	8	0.65	- 0.19		—	258	8	29.56	-23.77	-80.4	0.01
107	9	1.64	- 1.40		0.9	259	9	3.42	- 2.98		0.7
108	9	23.04	- 7.48		0.4	260	9	11.62	- 8.80		0.3
109	9	53.79	18.80	35.0	0.02	261	9	40.75	11.77		0.2
110	10	33.94	13.23	39.0	0.1	262	10	9.15	- 2.17		0.8
111	11	1.53	- 1.06		0.9	263	10	6.28	- 3.75		0.7
112	12	3.93	- 1.22		0.9	264	11	10.59	3.86		0.7
113	12	21.56	8.34		0.3	265	1957 1	3.58	- 2.91		0.7
114	1950 1	7.70	8.32		0.3	266	2	19.77	1.45		0.9

115	1	9.26	14.45	156.0	0.1	267	3	2.59	1.93		0.8
116	1	18.13	20.17	111.3	0.01	268	4	1.38	- 1.07		0.9
117	2	7.93	10.28		0.2	269	4	52.71	22.67	43.0	0.01
118	3	13.25	9.95		0.2	270	5	4.14	1.86		0.9
119	3	1.12	3.03		0.7	271	5	20.37	- 4.43		0.6
120	3	48.54	34.77	71.6	0.001	272	6	40.68	4.31		0.6
121	4	20.37	3.68		0.7	273	7	73.40	20.94	78.5	0.01
122	5	0.10	0.74		—	274	7	23.53	17.97	76.4	0.02
123	5	4.29	- 1.65		0.9	275	7	0.30	3.41		0.7
124	5	5.04	- 3.17		0.7	276	8	37.82	-18.18	-48.1	0.02
125	5	11.39	- 6.50		0.4	277	9	10.50	- 9.54		0.3
126	6	1.48	- 1.25		0.9	278	9	14.30	- 7.20		0.4
127	6	30.63	- 5.18		0.5	279	9	21.86	1.25		0.9
128	6	17.77	2.84		0.8	280	9	2.94	- 2.33		0.8
129	7	2.47	- 2.07		0.8	281	9	22.57	4.56		0.6
130	7	5.76	- 5.39		0.5	282	10	8.90	0.87		—
131	8	21.18	-17.88	-84.4	0.02	283	10	3.57	- 3.27		0.7
132	8	13.91	-12.96	-93.2	0.1	284	11	2.90	- 2.26		0.8
133	9	20.08	-15.43	-76.8	0.05	285	12	0.59	0.07		—
134	9	3.12	- 2.84		0.8	286	1958	7.32	- 3.82		0.7
135	9	1.55	- 1.25		0.9	287	2	20.21	- 0.16		—
136	9	8.96	- 1.95		0.8	288	3	26.15	2.82		0.8
137	9	6.72	- 2.06		0.8	289	4	13.64	6.57		0.4
138	9	3.40	- 2.12		0.8	290	4	31.00	9.17		0.3
139	10	5.43	- 2.35		0.8	291	5	6.79	- 0.58		—
140	10	1.23	- 0.59		—	292	5	20.61	- 4.35		0.6
141	10	10.92	- 4.88		0.6	293	6	6.61	- 5.88		0.5
142	11	10.99	2.29		0.8	294	6	9.65	- 2.72		0.8
143	11	2.89	1.20		0.9	295	7	49.84	-11.13		0.2
144	11	4.98	6.61		0.4	296	8	3.82	- 3.61		0.7
145	11	4.82	3.57		0.7	297	8	29.92	-27.15	-90.7	0.001
146	12	2.20	3.05		0.7	298	8	5.53	- 4.96		0.6
147	1951	4.99	3.91		0.7	299	9	4.38	- 3.96		0.6
148	2	17.77	13.99	78.7	0.1	300	9	19.40	-16.54	-85.3	0.05
149	4	56.07	22.73	40.5	0.01	301	10	3.04	- 2.55		0.8
150	4	4.09	1.07		0.9	302	10	11.60	- 4.86		0.2
151	5	11.31	5.15		0.5	303	11	4.64	- 0.48		—
152	5	7.97	- 2.57		0.8						

月流出量の変化量を処理期間の全期間（上川・Wagon Wheel Gap）について、または処理期間中の植被差による各処理分期間（釜淵・宝川・竜の口山）ごとに月別に平均値を求め、これを季節別に合計する。一方、同様にして Table 24～27 に示した季節流出量の変化量の季節別平均値を求めて、両者を比較した。その結果を Table 29 に示した。

Table 29 によれば、上川・Wagon Wheel Gap ではかなり類似し、ことに後者ではほとんど一致していると言つてよからう。他の流域ではかなりのくい違いがみられる。ことに宝川の冬期、竜の口山—南谷の夏期・下刈植栽期、竜の口山—北谷の放置後半期などではくい違いが大きい。

くい違いの理由は主として、月流出量の推定回帰式の中に精度のきわめて低いものがあるということにあるが、月流出量の方と季節流出量とは各処理期間のくぎり方に違いがある。すなわち、前者では処理月でくぎるが、後者では処理の行なわれた月を含めて機械的に何か月かをくぎることの影響もあると考えられる。基準流域の類似性がよく、キャリブレーションの精度が高いものは良い結果となっていることが明らかである。

以上の検討だけで月流出量の変化量の信頼度を評価することは不十分ではあるが、この結果から後述の平均的・定性的検討の資料として月流出量の変化量の計算結果を利用することは許されるものと考えた。

V-2-5. 増 水 量

Table 30 からつぎのことが言えよう。

増加した出水もあるが減少したものも多い。この結果を増加および減少の月別度数で整理すると Table 31 のようになり、釜淵では157の出水で97が増加、60が減少、竜の口山では303の出水で増加150、減少153で、ともに両者相半ばしている。

Table 30 で注目されることは、釜淵では5～7月、10月、11月の5か月、竜の口山では1～5月、7月、12月の7か月に減少よりも増加の例数が多く、釜淵では8月・9月、竜の口山では8～11月の各月に増加より減少の例数が多いことである。すなわち気温高く、日射の多い時期に減少する場合が多いということである。5%あるいは1%水準以上で推計学的に有意な例数の分布（Table 31）もこの結果をほぼ示している。

変化量の変動は大きく、増加量の範囲はつぎのようになる。

釜淵：0.21～102.61mm、竜の口山：0.07～128.83mm

また減少量の範囲はつぎのようになる。

釜淵：0.05～22.75mm、竜の口山：0.10～32.16mm

これらの変化量が偶然に起こりうる確率を Table 30 に示したが、Table 31 にまとめたように5%水準以上で有意なものの例数はきわめて少ない。しかし、変化量の大きいものはすべて高い水準で有意となっていることは重要である。

5%水準以上で、有意な変化量だけについて変化率をみると Table 30 に示すとおりで、これをまとめると増加率の範囲はつぎのようになる。

釜淵：18.9～38.9%、竜の口山：35.0～111.3%

また減少率の範囲はつぎのようになる。

釜淵：25.0～64.0%、竜の口山：48.1～93.2%

一連続雨量に対する増水量の比（%）を増水流比率とし、これを5%水準以上で有意な変化の例でみる

Table 31. 処理期間における増水量の増加および減少の月別度数分布
Frequency distribution of increase and decrease in
quickflow by month for treatment period

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計 Total
釜淵—2号沢 K.-2													
増 加 Increase					10	14	18	4	16	22	13		97
減 少 Decrease					6	5	12	16	19	2	0		60
5 %水準以上で有意なもの Statistically significant at 5-per cent level						1	5	1		2	2		11
増 加 Increase							2		2				4
減 少 Decrease													
1 %水準以上で有意なもの Statistically significant at 1-per cent level						1	4	1		2	1		9
増 加 Increase													0
減 少 Decrease													
竜の口山—北谷 T.-K.													
増 加 Increase	8	10	19	22	21	17	18	1	10	7	7	10	150
減 少 Decrease	5	2	2	6	18	19	13	24	33	18	11	2	153
5 %水準以上で有意なもの Statistically significant at 5-per cent level	1		2	3	2	3	8		2	1			22
増 加 Increase					1			7	5	1			14
減 少 Decrease													
1 %水準以上で有意なもの Statistically significant at 1-per cent level	1		2	3		2	6			1			15
増 加 Increase								4	1				5
減 少 Decrease													

と Table 32 のとおりで、増加の範囲はつぎのようになる。

釜淵：12.5～24.8%

竜の口山：13.4～38.1%

これらが期待増水流出率釜淵：62.5～68.1%，竜の口山：34.3～47.0%に森林処理によって加わったわけである。

同様にして減少の範囲はつぎのようになる。

釜淵：15.7～35.8%（期待増水流出率55.6～62.7%）

竜の口山：19.3～34.8%（期待増水流出率34.1～41.9%）

素資料の関係で、2つの流域の一部期間だけの検討にとどまったが、それでも資料はきわめて多数で植被変化との経年的対照をすることは容易ではない。しかし素資料により初期水位・関連降雨量との関係を概観すると明らかな符合関係が認められ、これを詳細検討する必要が認められた。

V-2-6. 増水ピーク流量

Table 33 から次のことが言えよう。

増加した出水もあるが、減少したものも多い。この結果を増加および減少の月別度数で整理すると Table 34 のようになる。釜淵では95増水中43が増加、52が減少、竜の口山では293増水中84が増加、209が減少で、ともに度数では減少の方が多い。とくに竜の口山では顕著である。しかし、月別の傾向は増水量のそれと比較して明りょうではなく、しいて言えば竜の口山で5～10月の夏期に減少の場合が多いと言

Table 32. 処理期間における増水流出率の変化
Change in quickflow percentage for treatment period

Table 31 中の番号	一連続雨量	期待増水流出率	増水流出率 の変化	Table 31 中の番号	一連続雨量	期待増水流出率	増水流出率 の変化
No. in Table 31	Amount of a storm mm	Predicted quickflow percentage %	Change in quickflow percentage %	No. in Table 31	Amount of a storm mm	Predicted quickflow percentage %	Change in quickflow percentage %
釜淵—2号沢 K.-2							
6	196.8	65.3	24.5	91	63.6	55.9	-35.8
7	231.4	66.0	12.5	93	63.7	55.9	-33.3
21	186.5	65.1	13.2	121	62.2	55.6	-31.2
57	122.9	62.6	18.5	143	125.0	62.7	-15.7
71	200.5	65.4	17.8				
73	398.2	67.6	24.8				
109	292.4	66.8	17.3				
116	121.7	62.5	24.4				
118	257.8	66.4	15.7				
126	258.6	66.3	16.0				
144	526.0	68.1	19.5				
竜の口山—北谷 T.-K.							
16	80.0	40.2	20.8	13	52.6	34.1	-30.7
29	106.7	44.0	19.1	39	55.0	34.9	-31.3
36	91.3	42.5	28.2	83	83.1	37.2	-29.4
53	90.0	42.8	20.2	131	59.4	35.7	-30.1
58	86.6	39.6	18.9	133	56.8	35.4	-27.2
88	113.5	41.8	32.3	161	56.6	36.9	-34.0
94	75.5	39.9	26.4	164	63.6	36.4	-30.2
101	145.3	44.2	22.4	190	108.8	41.9	-29.5
109	120.1	44.8	15.6	236	65.2	36.1	-33.6
116	52.9	34.3	38.1	250	52.0	37.3	-32.3
120	116.1	41.8	30.0	258	71.7	41.2	-33.1
149	132.0	42.5	17.2	276	94.4	40.1	-19.3
159	273.0	46.5	33.2	297	78.2	38.3	-34.8
183	155.9	46.3	33.6	300	55.6	34.9	-29.8
184	132.4	46.7	23.7				
201	237.5	46.0	31.3				
203	96.1	42.6	28.8				
214	433.0	46.1	29.7				
229	91.3	40.1	27.8				
269	123.6	42.6	18.4				
273	156.3	47.0	13.4				
274	62.7	37.5	28.7				

注) 5%水準で有意な変化のあった増水についてのみ示した。—符号は減少を示す。

The table includes only the change statistically significant at the 5-per cent level and “—” shows that the change is of decrease.

えよう。

変化量はきわめて変動しており、増加量の範囲は次のようである。

釜淵：0.46～105.97 l/s, 竜の口山：0.08～330.91 l/s

また減少量の範囲は次のようである。

釜淵：0.31～18.97 l/s, 竜の口山：0.10～185.19 l/s

これらの変化量が偶然起こりうる確率は Table 33 の末尾欄に記したが、Table 34 にまとめたように 5%水準以上で有意なものの例数はきわめて少ない。しかし、変化量の大きいものはすべて有意となっていることは重要である。

5%水準以上で、有意な変化量だけについて 変化率をみると Table 33 に示したとおりで、増加率の範囲はつぎのようである。

釜淵：28.3～119.4%，竜の口山：43.5～153.4%

また減少率の範囲はつぎようになる。

釜淵：30.1～68.4%，竜の口山：23.8～91.7%

増水量の場合と同じく素資料の対照により初期水位・関連降雨条件との関係が顕著なことがうかがわれた。

V-2-7. 豊水・平水・低水・渇水各率

豊水・平水・低水・渇水各流出量の処理期間における期待量の、年流出量の期待量に対する比、またこの比と当該年の実測4種流出量の実測年流出量に対する比との差を、各流域別に表示したのが Table 35 である。Table 35 の中の“期待”値は前者で、“変化”値が後者である。

なお、Table 36 は各流域の実測流出量から求めた、各率の基準期間における算術平均値を示す。この表から、ここで言う一様性が相対的に高い流域は上川と Wagon Wheel Gap で、両流域は各率のかなり似た配分を示し、他の3つの流域もたがいにほぼ同様な配分であるが、前2流域に比べると、本来一様性が低いように認められる。各流域は森林・地形など流域地文条件や気象条件が大いに異なるが、一様性の違いが主として何に因るかは簡単には言えない。しかしいって言えば、上川・Wagon Wheel Gap は他の3流域に比べて流域面積が大きいこと、降水の季節的変動が小さいこと、比較的森林状態が良好であることなどの違いが直観的に考えられるが、詳細な検討は困難であり、少なくともこの報告の問題ではないので、ここでは深くふれないこととする。

Table 35 で、各率の期待値の合計は当然100%にならなければならない。しかし、期待流出量は各種流出量別にそれぞれ推定しているので、当然誤差があり、厳密には100%になっていない。しかし竜の口山一南谷では、92%強という極端に悪いもの1例、96%前後のもの2例、103%強のもの1例、同じく北谷で94%のもの1例、96%前後のもの2例、104%弱のもの1例、Wagon Wheel Gap で96%強のもの1例を除けば、他はすべて97～102%でほぼ満足できる。少なくとも全体的に傾向をみるのにこの資料を用いてもさしつかえあるまい。

なお参考として、処理期間における期待流出量による各率の平均値を、Table 36 に付記した。

Table 35 に示された変化の値が正確であれば、各率の変化の値の合計は0にならなければならない。しかるに、ほぼ0になる例さえもきわめて少なく、誤差が大きいことが明らかである。しかも、竜の口山などの一部以外は変化の値がきわめて小さい。したがって、全体としてこれらの変化を議論する価値は実用的な意味では小さい。しかしながら、その傾向をみることは、森林の機能を考えるときの参考になると考えられる。そこで、つぎに Table 35 より、各流域別の各率の変化をいちおう検討することとした。

Wagon Wheel Gap では明らかに豊水率が増加し、低水率・渇水率が減少し、平水率には年によって両方があることが認められ、この意味で一様性が悪化した傾向が認められる。

上川では伐採進行中の期間に豊水率は小さくなり、平水率が大きくなって一様性が向上したとも言えるが同時に低水率・渇水率が小さくなっており、この意味では一様性が向上したとも言いきれない。しかし、皆伐完了後は明らかに豊水率が小さく、平水率・低水率・渇水率のいずれも大きくなって、一様性は向上したと言えよう。

釜淵・竜の口山一南谷では2～3の例外はあるとしても全体的には明らかに豊水率は小さくなり、他の3種は増加して、一様性は少しでも向上したと言えよう。

Table 33. 処理期間における増水ピーク流量の変化
Change in peak discharge for treatment period

年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
釜淵-2号沢 K.-2									
1948	7	34.45	1.94	0.9	6	15.46	1.63		0.9
	7	25.17	-10.06	0.3	6	3.92	0.83		—
	8	19.53	-11.12	0.2	6	5.48	1.02		0.9
	9	53.78	-5.04	0.6	7	24.35	5.54		0.5
	9	3.14	0.46	—	7	30.77	11.82		0.2
	10	51.17	7.97	0.4	8	49.77	8.82		0.3
	10	54.32	-16.40	0.05	8	20.81	2.91		0.8
1949	5	7.46	-3.87	0.7	8	47.59	-16.69	-35.0	0.05
	6	9.38	5.41	0.5	9	47.92	32.66	68.1	0.001
	7	18.97	-8.57	0.3	9	3.90	0.82		—
	7	6.97	-0.70	—	10	2.93	2.80		0.8
	8	19.16	-11.63	0.2	11	1.02	6.16		0.5
	9	61.25	31.51	0.001	11	8.25	-4.75		0.6
	9	13.86	-9.11	0.3	5	10.46	-5.77		0.5
	9	45.81	18.90	0.05	6	29.03	-5.33		0.5
	9	38.44	45.92	0.001	7	12.86	-11.79		0.2
	10	13.31	4.87	0.6	7	7.65	0.82		—
	11	34.73	-16.85	0.05	7	53.09	4.29		0.6
	11	16.37	6.77	0.4	8	20.89	-8.83		0.3
1950	5	30.03	-12.27	0.2	8	125.95	105.97	84.1	0.001
	6	20.90	10.80	0.2	9	21.59	-3.52		0.7
	6	21.09	-4.78	0.6	9	23.07	8.87		0.3
	7	16.24	-10.69	0.2	9	16.99	-2.59		0.8
	7	36.36	9.16	0.3	10	4.02	-1.29		0.9
	7	28.07	79.45	0.001	11	17.75	5.55		0.5
	8	5.86	-3.09	0.7	11	42.13	10.36		0.3
	8	27.72	-18.97	0.02	5	11.64	0.57		—
	9	20.64	-8.87	0.3	5	10.52	0.79		—
	9	7.54	-0.34	—	5	10.16	-5.04		0.6
	9	3.24	-1.00	0.9	6	10.85	1.71		0.9
	10	52.00	-1.88	0.9	6	13.33	7.30		0.4
	10	19.20	-8.73	0.3	6	3.79	7.77		0.4
1951	5	15.97	-0.54	—	6	10.79	1.72		0.9
	6	14.73	1.25	0.9	7	1.66	4.03		0.7
	7	4.23	-1.72	0.9	7	7.56	1.41		0.9
	7	5.53	2.14	0.8	7	16.46	-9.88		0.3
	7	7.03	-0.69	—	9	9.70	-5.29		0.5

1952	8	8.75	-5.55		0.5	9	20.14	-11.16		0.2
	9	44.09	-0.31		—	9	17.20	-11.29		0.2
	9	19.77	-1.30		0.9	10	17.38	1.31		0.9
	9	12.80	-4.01		0.7	10	12.00	10.44		0.2
	10	1.31	2.18		0.8	10	22.89	-11.01		0.2
	10	1.88	1.63		0.9	11	13.36	-7.75		0.4
	10	20.37	-8.27		0.3	1955	5	19.35	1.63	0.9
	10	13.85	-0.37		—	5	23.18	-5.24		0.6
	11	23.17	-8.13		0.3	6	8.45	-1.80		0.9
	5	8.16	-2.02		0.8	6	12.61	5.35		0.5
	5	11.10	-8.78		0.3					
竜の口山—北谷 T.-K.										
1945	5	1.89	0.49		—	7	105.95	61.78		0.2
	5	32.20	-10.22		0.8	7	453.87	-108.36	-23.8	0.05
	6	28.83	-16.28		0.7	9	0.79	0.42		—
	6	46.74	-13.95		0.8	9	93.28	-67.59		0.2
	6	40.84	-15.32		0.8	9	9.07	-7.54		0.9
	6	3.91	0.31		—	9	7.38	-2.55		—
	7	5.07	-0.43		—	10	92.87	-64.85		0.2
	7	17.63	-2.83		—	11	23.57	-17.35		0.7
	7	147.01	82.55	56.1	0.05	11	21.11	-1.76		—
	7	30.25	-5.89		0.9	12	0.47	6.65		0.9
	7	74.54	84.87	113.8	0.05	1952	1	61.20	-4.00	—
	8	28.57	-18.78		0.7	2	33.47	4.31		0.9
	8	70.30	-48.78		0.3	3	88.13	-36.93		0.4
	9	24.11	-13.30		0.8	3	17.31	8.17		0.9
	9	92.52	12.34		0.8	3	15.85	9.01		0.9
	9	122.63	82.50	67.2	0.05	4	27.18	11.07		0.8
	9	30.79	3.77		—	4	11.42	-4.25		0.9
	9	12.49	-7.96		0.9	4	41.25	14.02		0.8
	9	72.03	41.14		0.3	4	16.26	5.39		0.9
	10	9.80	-0.26		—	4	37.71	0.88		—
	10	21.06	14.17		0.8	5	30.44	5.53		0.9
1946	10	155.17	133.16	85.8	0.01	5	7.78	-5.53		0.9
	10	19.68	-6.04		0.9	5	2.40	-1.27		—
	10	12.19	-6.26		0.9	5	22.78	-6.65		0.9
	1	10.78	-8.47		0.9	6	121.95	35.40		0.4
	3	35.92	-17.60		0.7	7	262.84	114.52	43.5	0.01
	4	8.71	1.35		—	7	210.72	170.37	80.8	0.001
	4	83.09	65.27		0.2	7	93.86	3.30		—
	5	165.65	232.78	140.5	0.001	7	105.46	47.34		0.3
	5	58.97	-5.67		0.9	8	30.14	-26.34		0.6
	6	23.17	-19.89		0.7	8	101.32	35.61		0.4
	6	43.68	-24.02		0.6	9	12.70	-9.82		0.9
	6	126.94	-75.47		0.1	9	170.72	-102.36	-59.9	0.02
	7	54.95	-24.28		0.6	10	29.11	-23.50		0.6
	7	181.77	220.28	121.1	0.001	11	60.69	-41.90		0.4

Table 33. (つづき) (Continued)

年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
1947	8	81.33	-78.10	0.1	1953	2	19.52	-11.41	0.8
	9	71.31	-58.83	0.2		3	26.13	-15.75	0.7
	9	4.49	-4.30	—		3	19.97	-1.85	—
	9	61.77	-46.73	0.3		4	2.32	-0.10	—
	10	12.94	-12.20	0.8		4	0.27	3.71	—
	10	23.45	-22.94	0.6		5	87.61	-32.16	0.5
	10	123.20	12.01	0.8		5	118.99	146.19	123.6 0.001
	11	31.86	-20.44	0.7		6	402.10	248.31	61.7 0.001
	12	8.46	7.62	0.9		6	4.23	0.08	—
	12	25.11	-14.56	0.8		6	27.84	-22.97	0.6
	1	17.92	5.95	0.9	1954	6	158.10	-49.52	0.3
	1	7.01	5.39	0.9		1	27.74	-20.76	0.7
	3	13.66	-3.83	—		3	44.77	-27.70	0.5
	4	50.95	-1.00	—		4	8.67	-2.77	—
	5	154.07	-68.27	0.2		4	63.12	30.91	0.5
	5	16.33	2.72	—		5	92.56	-23.41	0.6
	6	3.05	-1.76	—		5	48.82	-37.10	0.4
	6	64.57	-24.24	0.6		5	76.59	-36.80	0.4
	6	43.68	-21.74	0.6		6	31.92	-6.86	0.9
	7	157.65	172.79	0.001		6	169.62	-55.98	0.2
1948	7	111.98	-36.93	0.4		7	753.51	-185.19	-24.5 0.01
	8	5.66	5.97	0.9		7	45.22	-38.18	0.4
	8	15.20	-8.58	0.9		8	0.83	1.09	—
	9	19.57	-14.51	0.8		8	60.48	-36.26	0.4
	9	34.38	-25.76	0.6		8	18.81	-14.76	0.8
	9	19.10	-17.60	0.7		8	169.78	44.81	0.4
	10	7.47	-2.30	—		9	25.56	-8.38	0.9
	10	8.85	-5.92	0.9		9	6.51	-3.56	—
	12	1.51	14.70	0.8		9	162.71	-110.82	-68.1 0.01
	2	3.21	3.32	—	1955	11	61.86	-42.48	0.4
	3	18.65	0.28	—		12	31.64	2.25	—
	3	76.10	-53.28	0.2		2	37.23	41.24	0.4
	4	0.58	2.23	—		3	8.39	7.59	0.9
	4	19.66	2.62	—		3	79.60	-62.66	0.2
	4	41.71	-22.96	0.6		4	138.55	-2.00	—
	5	43.95	-16.77	0.7		5	50.40	35.13	0.4
	6	8.81	-7.90	0.9		5	38.98	-18.90	0.7

1949	6	2.76	- 1.96		—	5	87.13	-60.75		0.2
	6	26.97	25.01		0.6	6	134.40	7.19		0.9
	7	8.28	- 6.97		0.9	7	185.19	-33.77		0.5
	7	207.09	-66.34		0.2	7	22.54	-21.48		0.6
	7	3.10	- 1.02		—	8	5.13	- 3.65		—
	7	78.21	-64.07		0.2	8	139.63	-90.91	-65.1	0.05
	8	7.22	- 5.26		0.9	9	32.01	-24.16		0.6
	8	128.46	-113.15	-88.0	0.01	9	2.65	- 2.13		—
	9	168.89	- 9.19		0.9	9	36.53	-34.70		0.4
	9	10.73	- 8.75		0.9	10	8.79	- 8.23		0.9
	9	89.71	61.82		0.2	10	65.46	-50.09		0.3
	10	204.50	305.26	149.2	0.001	11	4.51	- 2.02		—
1950	11	54.75	-33.45		0.4	11	23.47	- 8.87		0.9
	11	40.49	0.25		—	1956	32.05	-17.43		0.7
	12	8.70	6.19		0.2	1	36.76	- 4.02		—
	2	14.88	- 2.96		—	3	19.52	9.60		0.9
	3	107.72	17.60		0.7	3	126.28	-97.65	-77.3	0.02
	5	10.51	- 3.17		—	4	26.04	-12.76		0.8
	5	16.33	- 9.47		0.9	5	24.13	-11.31		0.8
	5	64.51	-29.22		0.5	5	21.92	- 3.03		—
	6	84.94	- 5.44		0.9	5	69.88	-27.09		0.6
	6	238.60	196.43	82.3	0.001	6	20.62	3.44		—
	6	31.26	-23.43		0.6	6	78.84	70.13		0.1
	7	88.16	61.25		0.2	6	5.46	- 2.51		—
	7	215.71	330.91	153.4	0.001	6	31.24	-18.95		0.7
1951	8	53.51	-49.48		0.3	6	153.18	-64.38		0.2
	8	10.16	- 5.15		0.9	8	15.60	-13.08		0.8
	9	1.86	- 1.37		—	8	5.45	- 4.59		—
	9	94.97	-54.97		0.2	8	54.81	-48.18		0.3
	9	227.94	- 9.82		0.9	8	94.86	-76.38		0.1
	10	123.13	-62.42		0.2	9	15.34	-11.41		0.8
	11	2.85	- 0.66		—	9	42.01	-34.62		0.4
	12	12.25	- 8.08		0.9	9	149.23	-21.87		0.6
	12	71.86	-42.98		0.3	10	26.44	- 5.45		0.9
	1	20.36	6.38		0.9	10	21.36	-14.94		0.8
	1	30.86	13.89		0.8	11	37.98	-15.85		0.7
	1	67.06	88.16	131.4	0.05	1957	11.17	- 9.00		0.9
	2	33.84	5.08		0.9	2	70.47	-39.15		0.4
1952	3	43.99	19.34		0.7	3	7.94	- 1.02		—
	3	170.46	12.69		0.8	4	196.52	-159.48	-81.1	0.001
	4	70.77	-46.27		0.3	5	6.94	2.22		—
	5	11.04	- 4.16		0.9	5	69.69	-46.53		0.3
	5	16.28	- 9.36		0.9	6	165.51	-18.95		0.7

Table 33. (つづき) (Continued)

年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability	年 月 Year Month	期 待 量 Predicted amount l/s	変 化 量 Changing amount l/s	変 化 率 Changing rate %	確 率 Probability
1951	5	36.79	-22.88	0.6	7	255.44	-178.87	-70.0	0.001
	6	3.45	-2.09	—	7	106.79	137.31	128.5	0.01
	6	118.36	-74.54	0.1	7	3.02	4.25	—	—
	6	65.90	4.80	0.9	8	161.22	74.74	—	0.1
	7	21.87	-16.33	0.7	9	38.84	31.41	—	0.5
	7	34.43	-28.21	0.5	9	60.89	-44.06	—	0.3
	8	88.13	-72.57	0.1	9	79.36	-9.28	—	0.9
	8	9.55	-9.01	0.9	9	82.98	-47.18	—	0.3
	8	61.02	-51.90	0.3	10	26.33	-3.35	—	—
	9	77.86	-57.74	0.2	10	8.35	-7.29	—	0.9
	9	27.07	-23.86	0.6	11	5.58	-3.13	—	—
	9	1.11	1.33	—	12	3.53	1.40	—	—
	9	71.29	-6.53	0.9	1958 1	20.55	-13.68	—	0.8
	9	63.52	-39.92	0.4	2	71.77	-50.33	—	0.3
	9	12.26	-10.33	0.8	3	88.19	-66.43	—	0.2
	9	1.36	1.33	—	4	43.73	-14.41	—	0.8
	10	13.14	-7.60	0.9	4	119.82	-62.10	—	0.2
	10	36.36	-22.81	0.6	5	19.49	-12.58	—	0.8
	11	30.25	9.72	0.9	5	71.80	-51.85	—	0.3
	11	19.67	5.44	0.9	6	21.69	-18.44	—	0.7
	11	6.02	4.88	0.9	6	42.69	-24.81	—	0.6
	12	0.52	3.04	0.9	7	193.45	-137.48	-71.0	0.01
	1	11.41	-3.75	0.9	8	10.45	-9.76	—	0.9
	2	65.10	-35.88	0.4	8	111.78	-102.53	-91.7	0.02
	4	201.19	-147.22	0.001	8	18.70	-15.44	—	0.8
	4	9.48	-4.70	0.9	9	3.01	-1.58	—	—
	5	37.89	2.83	0.9	9	29.97	-25.28	—	0.6
	5	20.85	-9.76	0.9	9	83.50	-73.11	—	0.1
	5	14.16	-9.38	0.9	10	19.23	-14.52	—	0.8
	5	100.36	-49.25	0.3	10	56.09	-13.10	—	0.8
	6	28.43	-25.91	0.6	11	13.60	-6.41	—	0.9
	6	5.34	-3.12	0.9					

Table 34. 処理期間における増水ピーク流量の増加および減少の月別度数分布
Frequency distribution of increase and decrease in peak discharge by month for treatment period

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計 Total	
釜淵—2号沢 K.-2														
	増 加 Increase				3	10	10	3	7	7	3		43	
	減 少 Decrease				8	4	8	7	13	7	5		52	
5 % 水準以上で有意なもの Statistically significant at 5-per cent level	増 加 Increase						1	1	4				6	
	減 少 Decrease							2		1	1		4	
1 % 水準以上で有意なもの Statistically significant at 1-per cent level	増 加 Increase						1	1	3				5	
	減 少 Decrease												0	
竜の口山—北谷 T.-K.														
	増 加 Increase	5	4	8	10	8	9	13	5	8	3	4	7	84
	減 少 Decrease	8	5	11	13	28	28	18	23	39	21	12	3	209
5 % 水準以上で有意なもの Statistically significant at 5-per cent level	増 加 Increase	1				2	2	8		1	2			16
	減 少 Decrease			1	2			4	3	2				12
1 % 水準以上で有意なもの Statistically significant at 1-per cent level	増 加 Increase					2	2	6		2				12
	減 少 Decrease				2			3	1	1				7

森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響（中野）

Table 35. 処理期間における豊水・平水・低水・渇水各率の変化
 Changes in rate of plentiful, ordinary, low, and scanty
 runoffs to annual runoff for treatment period

水 年 Wateryear	豊 水 率 Rate of plentiful runoff %		平 水 率 Rate of ordinary runoff %		低 水 率 Rate of low runoff %		渇 水 率 Rate of scanty runoff %	
	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change

上川一北谷 K.-K.

1953-'54	69.35	0.10	16.37	-0.77	10.52	-0.12	4.57	-0.01
1954-'55	68.36	-0.50	18.11	1.23	9.51	-0.15	3.21	0.22
1955-'56	69.47	-1.38	16.16	0.58	11.58	-0.86	5.71	-1.26
1956-'57	69.70	-2.57	15.75	2.67	10.91	-0.92	4.58	-0.13
1957-'58	69.62	-2.65	15.50	2.71	10.02	0.68	4.24	-0.11
1958-'59	69.77	-5.90	15.62	3.87	9.83	2.14	3.96	0.70

釜淵一2号沢 K.-2

1947-'48	85.85	-0.50	9.26	0.01	4.00	0.56	0.69	0.16
1948-'49	84.27	-1.42	12.10	0.86	2.76	1.02	0.34	0.06
1949-'50	85.31	0.08	10.27	0.26	3.61	0.06	0.36	0.02
1950-'51	85.58	-0.09	9.65	-0.39	3.87	0.73	0.43	0.25
1951-'52	87.53	-0.34	7.82	0.27	3.72	0.19	0.90	-0.01
1952-'53	88.86	0.20	7.66	-0.39	3.00	0.15	0.48	0.07
1953-'54	83.58	-0.05	11.43	0.46	3.81	0.29	0.35	0.11
1954-'55	87.20	-0.94	9.02	0.85	3.27	0.21	0.35	0
1955-'56	85.66	-0.52	9.63	0.48	3.90	0.17	0.61	0.06
1956-'57	86.29	-0.02	8.42	0.18	4.27	0.08	0.95	-0.16
1957-'58	83.80	-0.12	10.79	0.12	4.55	0.28	0.54	0.03
1958-'59	83.86	-0.58	10.71	0.63	4.19	0.53	0.85	-0.17
1959-'60	86.86	-1.59	8.87	0.87	3.36	0.78	0.75	0.10
1960-'61	85.67	-1.26	9.26	0.72	4.20	0.39	0.90	0.10
1961-'62	84.36	-0.57	10.26	0.29	4.42	0.40	0.79	0.03
1962-'63	85.78	-1.21	9.09	0.77	4.21	0.40	1.00	-0.02
1963-'64	86.26	-1.66	9.38	0.93	3.63	0.72	0.68	0.07

竜の口山一南谷 T.-M.

1944	89.78	-5.54	5.02	4.04	2.64	2.73	1.11	0.16
1945	94.12	-3.35	3.57	1.66	2.15	1.05	0.78	0.01
1946	90.96	-4.51	5.12	2.33	3.07	1.09	1.33	0.61
1947	96.21	-11.96	3.80	4.54	2.40	2.77	1.02	1.23
1948	88.74	0.94	5.83	-0.06	3.25	-0.02	1.09	0.21
1949	92.83	-5.56	4.88	1.26	2.98	1.47	1.17	0.98
1950	90.84	-8.57	5.07	5.06	2.56	3.04	1.06	0.94
1951	93.41	-4.65	4.39	1.80	2.52	0.97	1.02	0.55
1952	92.73	-4.19	4.36	2.17	2.43	1.04	0.98	0.46
1953	91.79	0.18	4.62	-0.33	2.85	-0.14	1.22	-0.21
1954	91.02	-1.41	4.91	0.85	3.13	0.05	1.36	0.08
1955	89.10	-1.73	5.68	0.71	3.46	0.75	1.52	0.51
1956	93.78	-7.23	4.26	3.38	2.47	1.65	0.91	0.78
1957	93.01	-3.22	4.52	0.97	2.93	0.40	1.17	0.21
1958	82.13	1.83	7.77	0.55	4.57	0.78	1.79	0.60
1959	81.86	3.19	6.57	2.16	2.95	1.82	0.99	0.47
1960	89.19	-2.52	5.05	1.66	3.20	1.37	1.24	0.81
1961	86.10	1.42	5.40	0.69	2.99	1.28	1.16	0.95

水 年 Wateryear	豊 水 率 Rate of plentiful runoff %		平 水 率 Rate of ordinary runoff %		低 水 率 Rate of low runoff %		渇 水 率 Rate of scanty runoff %	
	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change	期 待 Predicted	変 化 Change
1962	91.38	0.19	4.22	-0.19	2.54	0.37	1.02	0.46
1993	93.52	-3.14	4.56	1.25	3.12	-0.12	1.19	-0.36
1964	86.53	-1.38	5.68	2.41	3.23	1.44	1.36	0.74

竜の口山—北谷 T.-K.

1945	94.89	-4.01	3.24	2.23	1.98	1.05	0.70	-0.09
1946	91.95	-3.33	4.36	2.15	2.80	0.60	1.21	0.23
1947	95.97	-8.62	3.98	3.36	2.80	0.86	1.14	0.50
1948	90.25	0.16	4.90	0.49	2.84	0.12	1.00	0.22
1949	93.61	-5.65	4.19	2.04	2.64	1.44	1.09	0.60
1950	91.69	-8.04	4.42	5.34	2.46	2.50	1.02	0.57
1951	93.91	-3.72	3.96	1.88	2.44	0.32	0.99	0.17
1952	93.59	-1.48	3.75	0.81	2.21	0.06	0.90	0.15
1953	92.83	1.20	3.90	-0.79	2.53	-0.53	1.09	-0.27
1954	92.08	-0.50	4.12	0.73	2.76	-0.29	1.22	-0.13
1955	89.58	2.74	5.17	-0.73	3.46	-1.21	1.49	-0.53
1956	94.26	-2.29	3.89	1.03	2.39	-0.21	0.89	0
1957	93.53	0.24	4.03	-0.78	2.73	-0.63	1.10	-0.25
1958	83.82	5.56	6.74	-1.03	4.33	-0.85	1.70	-0.31
1959	84.79	1.87	5.50	0.15	2.86	-0.11	0.93	-0.02
1960	90.13	2.63	4.59	-0.97	3.11	-0.58	1.17	-0.09
1961	87.97	5.14	4.65	-1.23	2.83	-0.46	1.05	0.05
1962	91.76	3.71	4.30	-2.09	2.76	-1.16	1.03	-0.32
1963	94.24	-0.58	3.97	-0.35	2.76	-0.71	1.09	-0.47
1964	88.04	2.74	4.98	0.54	3.06	-0.23	1.24	-0.26

Wagon Wheel Gap-B

1918-'19	69.58	0.46	11.54	1.28	12.19	-1.25	6.79	-0.60
1919-'20	74.17	1.63	12.16	-1.61	10.14	-1.34	6.04	-1.19
1920-'21	65.51	2.30	14.42	-0.50	12.30	-0.50	6.78	-0.32
1921-'22	66.72	3.89	10.54	2.00	12.52	-1.66	6.87	-0.87
1922-'23	61.95	3.90	17.09	-2.67	13.07	-0.48	7.92	-0.81
1923-'24	66.85	1.59	12.81	0.85	12.81	-1.25	7.00	-0.65
1924-'25	48.80	3.42	21.00	-0.52	18.43	-0.62	10.02	-0.49
1925-'26	56.13	5.63	20.01	-3.42	17.61	-3.35	8.32	-0.91

竜の口山—北谷では伐採後7～8年は豊水率が減少し、他が増加して、一様性は向上しているが、伐跡地に再生樹草が回復した後年には、明らかにその逆となっている。

以上から、Wagon Wheel Gap では伐採後一様性が低下している。これに反して、他の流域では伐採後一様性が向上するという結果になった。これらのことは、上川・竜の口山—北谷で再生樹草の回復につれて、少なくとも伐採前の状態に近づいていく傾向がうかがわれることで裏付けられている。

Table 36. 基準期間における豊水・平水・低水・渇水各率の平均値
Mean values of rate of plentiful, ordinary, low,
and scanty runoffs for calibration period

流 域 Watershed	豊 水 率 Rate of plentiful runoff %	平 水 率 Rate of ordinary runoff %	低 水 率 Rate of low runoff %	渇 水 率 Rate of scanty runoff %
上川—北谷 K.—K.	69.52 (69.35)	16.07 (16.25)	10.14 (10.39)	4.27 (4.38)
釜淵—2号沢 K.—2	88.93 (85.68)	7.65 (9.73)	2.95 (3.76)	0.46 (0.64)
竜の口山—南谷 T.—M.	88.44 (90.22)	6.44 (4.98)	3.77 (2.91)	1.31 (1.16)
竜の口山—北谷 T.—K.	88.80 (91.77)	6.05 (4.34)	3.79 (2.76)	1.35 (1.09)
Wagon Wheel Gap-B	61.69 (63.71)	16.56 (14.95)	14.20 (13.63)	7.50 (7.47)

注) 下段には処理期間における期待流出量から求めた各率の平均値を示す。

Values in lower row are mean values of the predicted runoff for treatment period.

VI 結 果 の 考 察

VI-1. 流出量の変化と森林植被の変化との対照

前V項で、処理期間において各流出量は変化した、その変化量は流域と年によりきわめて変動していることが知られた。そしてこの原因の一部は、当然処理の違いに基づく植被条件の流域と年による違いにあることがうかがわれた。そこで各流出量の種類別に、それらの変化と植被・地表条件の変化との対照関係を検討する。

VI-1-1. 年流出量

IV-2項の記載と Fig. 14 により流域別に検討する。

(i) 上川—北谷

増加量の経年変化は林床のかく乱を含めて、森林が変化された程度の推移とかなり符合している。

すなわち、3～5年目はいずれも激しかった風害の跡地で、しかもかなりの搬出路が敷設され、ずり出しその他による激しい集運材方法で、風害前の約90%（蓄積）の林木が林外へ除去されている。ほとんど皆伐といえる森林除去が、175～268mm（増加率23～33%）の流出量増加と符合している。

これに対して2年目は、激しかったとはいえ風害跡はいっさい放置されて、林道敷設もようやくこの水年の末期に開始されており、森林の変化程度は当然上記3か年と比べて格段に少ない。また6年目は伐採と搬出の終了後自然に放置され、全流域にわたりクマイザサ・エゾイチゴ、その他陰湿性大型草本が侵入し、かなり繁茂しはじめた。これらの事実が、この2か年が前記3か年の増加量のほぼ半分の増加にとどまったことに符合するとみられる。

なお1年目は、水年末期1か月だけの影響であり、変化量が小さいことは当然認められ、計算結果もちょう増加であるが、その確かさはかなり低いことを示している。

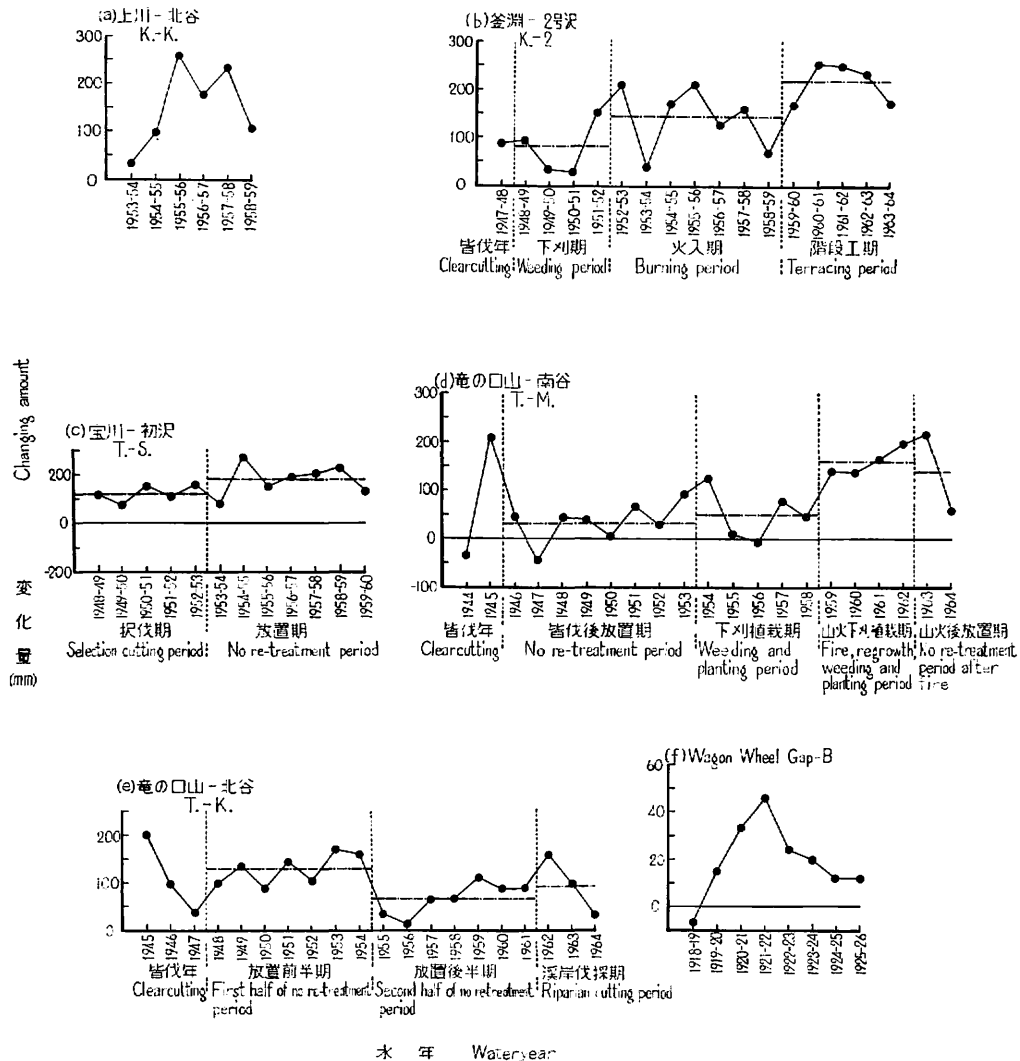


Fig. 14 処理期間における年流出量の経年変化
 Change in annual runoff for treatment period for each watershed.

以上から、大勢としては植被・地表かく乱の程度の多少に、変化量の多少が経年的に符合すると認められる。増加率および流出率の増加についても傾向は同じである。

しかし、子細にみれば問題はある。

すなわち、3・4・5年目それぞれの間で増加量にはかなり差があること、言い換えれば他の2か年に比べ4年目のそれが小さいことである。このことは各年の林木処理量の多少、処理区域が3年目は下流域の半分、4年目は上流域の半分で行なわれたこと、さらに5年目には溪流沿いの残存林分の処理が行なわれたことなどに関係があるのかもしれない。とくに溪岸伐採の影響で、5年目の増加量が大きくなったこ

とが考えられるが、やはり降水量など気象条件にも関係が深いことが十分推定される。

(ii) 釜淵—2号沢

林況変化の過程を皆伐年ほかの処理分期でみると、皆伐年・下刈期・火入期には増加傾向は認められるが、95%限界で有意な大きな増加は起こらなかった。また皆伐年およびその翌年には、その後の各年よりも大きな増加が起こっていない。このことは皆伐に地表のかく乱を伴っていないことに多少関係があるかも知れない。

しかし根本的には年降水量が1947-’48~1950-’51および1953-’54などの各水年に非常に少なかったことが関係していると推定される。このことはつぎのVI-2項で述べる。

火入期で、極端に雨の少なかった1953-’54水年を除き、全体して増加量が後年ほど小さくなっている傾向は、火入れにもかかわらず1年間全体としては逐次草・低木が発達していったことに符合するかも知れない。

階段工期で、その2・3年目に有意で大きな増加が起こっている。この増加は、面積で7%弱ではあるが、難浸透能の裸地面をつくったことなどに符合しよう。施工後1年目の増加が比較的小さいのは、施工の影響期間の短いこと（この水年の最後2か月間）に符合し、4・5年目で小さいことは裸地面への草本などの回復に符合すると考えられる。

各処理分期の平均値でみると、分期の順に、増加量は89, 80, 143, 218mm (Fig. 14 (b) 中に破線で示されている)、流出率の増加は4, 3, 5, 8%, 増加率は5, 4, 7, 10%となるが、皆伐年・下刈期では降水量の影響を強く受け、植被変化との符合は明りょうでなくなったと考えられる。もちろん階段工築設の影響は明らかに認められる。

(iii) 宝川—初沢

択伐中の期間では択伐が終了した最後の年に、信頼度の高い増加(161mm, 増加率10%)が認められる。他の年でも信頼度は多少低い、全年にわたりかなりの増加がみられる。

択伐後放置された期間ではしだいに再生樹草の侵入がみられ、植被は復旧に向かった。それにもかかわらずなおかなりの増加(195~276mm, 増加率10~19%)が有意で認められた。

両分期の平均値 (Fig. 14 (c) 中の破線) でみると、増加量は123, 182mm, 流出率の増加は6, 9%, 増加率は8, 12%で放置期にもなお大きな変化があったことになる。

前述の上川、釜淵の場合に比べると、符合性は簡単ではない。すなわち、択伐期の1・3~5年目の各年の増加量は林木処理量に相対的に符合するが、2年目のそれは符合しない。また放置期では再生樹草の回復にもかかわらず、なおかなりの増加が認められる。この理由は、処理およびその後の植被の変化程度が小さかったこと、および気象条件などによるものと考えられる。このことは後述する。

しかし、経年的符合性はともかくとしても、いちおう植被の減少と伐採・搬出の作業にともなう、地表の裸出とかく乱が全体としての増加方向に符合するとみられよう。

(iv) 竜の口山—南谷

1944水年の末期に伐採が開始され、2年目の3月までに主要林分の皆伐が終了した。きわめて小地区にヒノキの不良林分が残されたが、実質的に全流域から上木が完全に除かれたとみられる。しかも、3~6月の間に伐根の掘り取りが行なわれた。これらのことが2年目の著しい増加(210mm, 増加率46%)に符合すると考えられる。

1年目は影響期間が短いので変化が小さかったことが考えられるが、いちおう減少になったことについては簡単には言えないが、降水量など気象条件その他に原因があると考えられる。ただその確かさはきわめて低いし、たいした影響がなかったというのが事実かも知れない。

放置期では急速に再生樹草の侵入がみられ、このことが増加量が小さくなり、あるいはほとんど変化を生じなかったことと符合しよう。

下刈植栽期には毎年一部区域で再生樹草の刈り払いが年1～2回行なわれ、またヒノキの植栽が行なわれたが、植被状態は1年間を通ずればほぼ前の放置期と同様とみられ、1～2年多少信頼度の高い増加があった以外には、有意な増加は起こらなかった。再生樹草の侵入による植被の回復が、これに符合するとみられる。年1～2回の植生刈払いも影響期間が短期で、処理区域も部分的であったため、たいした影響をもたらさなかったとみられる。この点釜淵と異なるのは、火入れによる強い抑制がなかったことと、環境条件の違いによる植被回復の違いに原因があると考えられる。

しかし、1959年9月には全域が焼失し、植被の減少程度は1945年の皆伐跡地のそれよりも徹底的であった。しかもその後クロマツの植栽が行なわれ、保育のための低木・下草の刈払いも実施された。このことは皆伐以降で山火以前の植被、地表状態に比べて相対的に悪いものであったことは想像に難くない。これらの事が、山火下刈植栽期の顕著な増加に符合すると考えられる。

1964年には、自然に放置されたため、下草・低木もしだいに繁茂し、造林木も順調な生育をしたため、増加量が小さくなったと考えられる。

皆伐完了の年に増加量210mm、流出率の増加15%、増加率46%であったが、その後の各処理分期の平均値（Fig. 14（d）中の破線）では、それぞれ33, 50, 161, 140mm；2, 4, 15, 11%；7, 14, 68, 37%となり、上述の符合性を裏書きしている。

しかし各処理分期内の変化量の変動は大きい。このことは後述するが、降水量など気象条件に原因があると考えられる。

（v） 竜の口山—北谷

第1年に主要林分の皆伐・搬出が行なわれ、これがその顕著な増加に符合する。

第2年に一部分の幼齢林分の伐採・搬出が行なわれ、以降1961年まで自然に放置され、しだいに再生樹草が侵入し、後年にはアカマツ・広葉樹混交の低木林の形が整っていった。南谷と異なり、第2年以降放置前半期までは1か水年を除いて、推計学的に0.05水準で有意、あるいは0.1水準で有意な増加が認められた。この間にも再生樹草の侵入は著しく、下刈などの人為はまったく加えられなかったわけであるから、南谷の場合と対比すると理解できないようにも考えられるが、その後放置後半期は1か水年を除いて増加量が小さく、かつ有意性も低くなっており、このことからやはり再生樹草の生育に符合すると考えられる。そして、これら各年の増加量が第1年のそれに比べて、はるかに小さいものであることは、植被の変化過程と符合する。

1962年には溪岸沿いの再生林分の伐採が行なわれ、これがこの年の有意な増加と符合するとみられる。しかしこのわずかの伐採、しかも影響期間約3か月の伐採の影響がただちに、このように現われたかどうかには多少疑問があり、溪岸木伐採・降水量・解析精度の各影響がたまたま重複したものとみるのが至当であろう。

以上の傾向は、前述の各分期の平均値を対比することでさらに明らかになる。すなわち、主たる伐採が

行なわれた第 1 年に増加量 205mm, 流出率の増加 14%, 増加率 43% だったものが, その後の各処理分期の平均値 (Fig. 14 (e) 中の破線) はそれぞれ 131, 67, 93mm; 10, 6, 8%; 29, 27, 30% となり, 植生の経年変化と符合している。

しかしながら, 各分期内での変化量の変動はかなり大きい。このことは, 後述するが, 気象条件のためと考えられる。

(vi) Wagon Wheel Gap-B

上川の場合に似ており, 植生量の多少・地表のかく乱程度の経年過程に増加量の経年変化が大勢としてよく符合している。

1 年目はいちおう減少であったが, その確かさはきわめて低く, ほとんど変化がなかったとみた方がよいかも知れない。これはこの水年の末期に伐採が開始され, 影響期間が短かったことに符合しよう。

第 2 年は前年からの伐採・搬出が継続され, ついで終了し, この年の末期には前年に残された林分も伐採除去された。また伐採木の枝条その他が列状に集積され, 末期に焼却された。これらのことと符合して 2 年目にはかなりの増加が起こった。

その後は, 自然に放置されたため, Aspen の萌芽をはじめとして再生樹草の侵入が始まったものの, 3~4 年目には上層木がほぼ完全になくなり, 伐採・搬出作業や焼却にともなう地表裸出部分の出現, その侵食によりはげ地を生じた状態で 1 年間を経過したとみられ, これが大きな増加量 (34~46mm, 増加率 19~30%) と符合していると言えよう。

しかしそれも, 5 年目以降には樹草の回復がすすみ, これに符合して増加量も小さくなっていったものと考えられる。

なお 1923-'24, 1924-'25 水年のわずかの植生の除去ややぎの放牧はほとんど影響を示していないようである。

VI-1-2. 豊水・平水・低水・濁水各流出量

IV-2 項の記載と Fig. 15~19 により流域別に検討する。

(a) 豊水流出量

(i) 上川—北谷

風害・被害木の伐採と除去・林道敷設・伐跡地への樹草の再生にともなう植生量の変化と, 各種作業にともなう地表のかく乱のきびしさに増加量が符合し, 年流出量の場合とはほぼ同様な対照関係がみられる。

影響期間が短く, 影響の少なかった 1 年目にはきわめてわずかな増加が起こり, 地表変化のきびしかった 3~5 年目に大きく, かつ有意な増加が起こっている。2 年目は風害跡のまま放置されていたし, 6 年目は自然に放置されて全域にわたりササ, その他草類の侵入が著しくなってきたことと符合する。

増加率・流出率についても傾向は同じであった。

(ii) 釜淵—2 号沢

年流出量の場合とはほぼ同様な符合関係が認められる。

皆伐年および下刈期に増加量が小さいのは降水等気象条件のためと考えられる。

火入期だけをみれば, 雨の少なかった 1953-'54 水年を除いて, 後年に増加量が小さくなる傾向があり, やはり火入れにもかかわらず 1 年間をとおしてみれば, 草・低木が発達したことのためと考えられる。

階段工期には大きな増加が符合する。ただしこの期の第 1 年は施工影響期間が短かった (2 か月間) こ

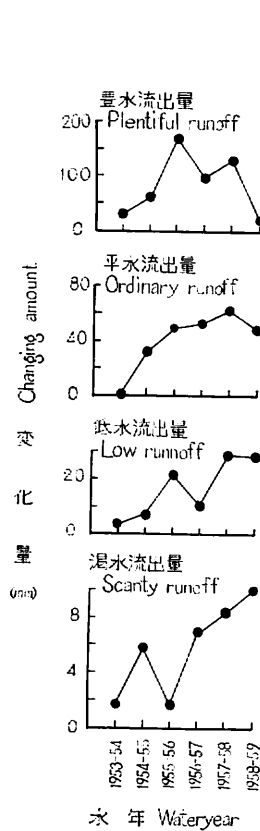


Fig. 15 上川一北谷の処理期間における豊水・平水・低水・渇水各流出量の経年変化
Annual changes in plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on K-K.

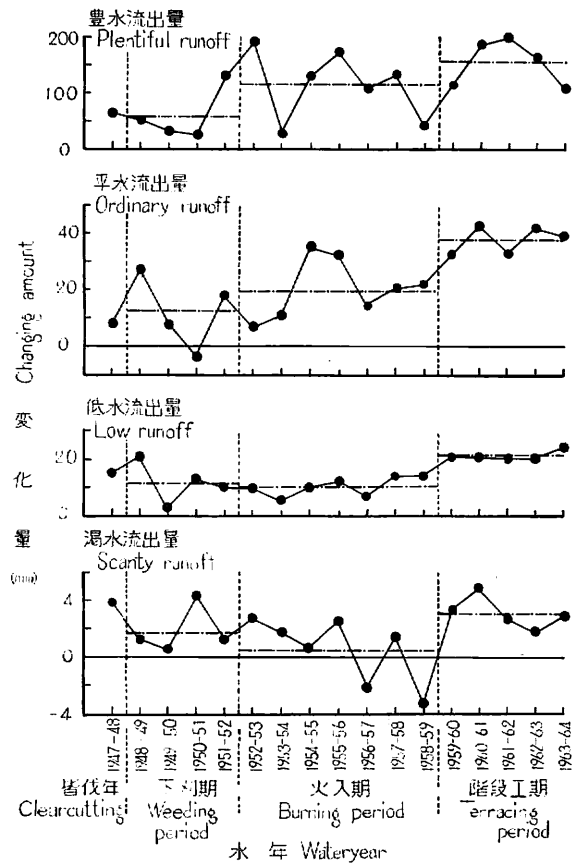


Fig. 16 釜淵一2号沢の処理期間における豊水・平水・低水・渇水各流出量の経年変化
Annual changes in plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on K-2.

と、第5年は裸地面への植生の侵入がしだいに顕著になったことに符合しているようにみられる。

各分期別に平均値（Fig. 16 中の破線）をみると、増加量66, 60, 116, 156mm；流出率の増加は3, 3, 4, 6%；増加率は4, 4, 7, 6%となるが、年流出量の場合とほぼ同様に植被変化だけとの符合関係は明りょうでなく、気象条件等との関係を調べる必要がある。

(iii) 竜の口山—南谷

定性的傾向は年流出量の場合と同様である。

皆伐が終了した2年目に大きな増加が符合し、1959水年以降山火による植被の焼失とその後の再生樹草の抑制に符合して増加量が大きくなっている。しかし再生樹草の発達と植栽木の成長がすすんだことに符合して、1964水年にはふたたび増加量が小さくなったとみられる。

皆伐完了年に増加量176mm，流出率の増加12%，増加率41%であったのが、その後の分期の平均値

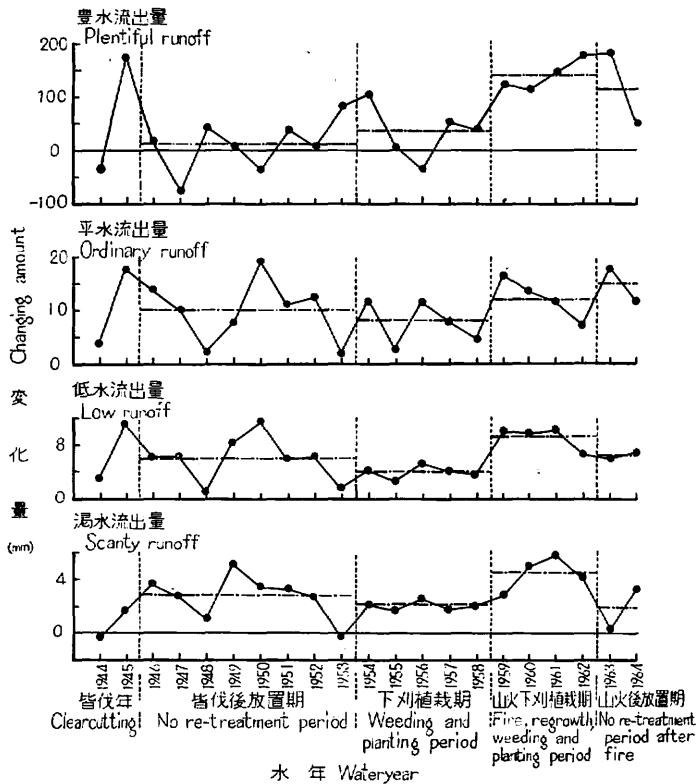


Fig. 17 竜の口山一南谷の処理 期間における豊水・平水・低水・渇水各流出量の経年変化
Annual changes in plentiful, ordinary, low, and scanty run-offs for treatment period on T.-M.

(Fig. 17 中の破線) ではそれぞれ11, 35, 143, 116mm; 0.5, 3, 13, 9%; 2, 12, 70, 33%となり、上述のことが明らかである。

(iv) 竜の口山一北谷

年流出量の場合と同様で、ほぼ植被変化の経年的傾向と符合する。

年流出量の場合ほど明りょうではないが、放置後半期では高度に有意な増加がみられないが、それ以前には第1年を含めて高度に有意な増加がみられる。

1962水年の高度に有意な増加は、渓岸再生林分の伐採にいちおう符合することもみられるが、解析誤差その他の影響も考えられる。

主たる伐採の行なわれた年に増加量167mm、流出率の増加12%、増加率37%であったものが、その後の各分期の平均値 (Fig. 18 中の破線) は107, 68, 93mm; 8, 6, 8%; 26, 31, 33%となり、上述の傾向を示している。

(v) Wagon Wheel Gap-B

水年流出量の場合とまったく同様で、植被の変化過程と明りょうに符合している。日本の各流域の場合より明りょうなことの理由は、降水条件が経年的により一様なことにありそうである。増加率・流出率の増加についても傾向は同じであった。

以上いずれの流域においても、年流出量に占める豊水流出量の割合がきわめて大きいことから当然では

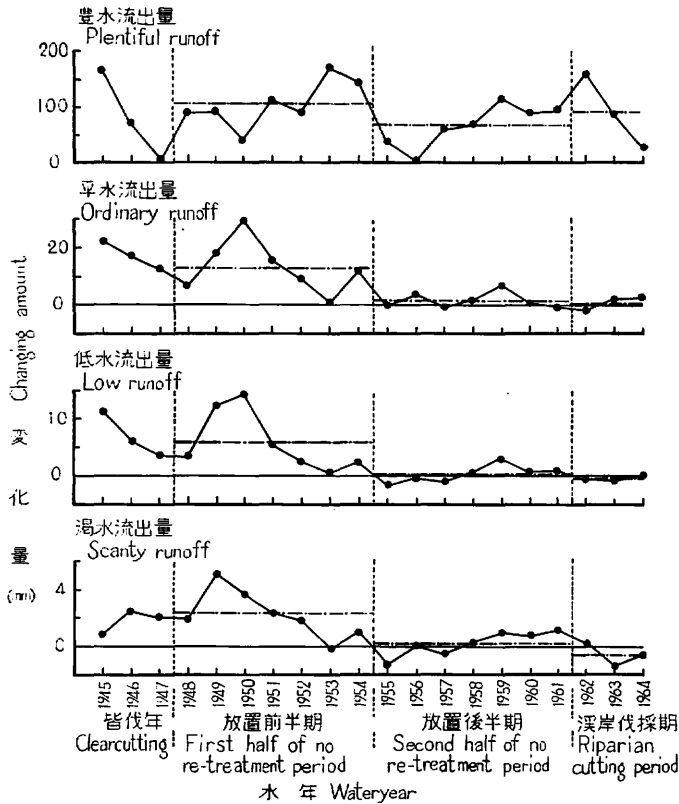


Fig. 18 竜の口山—北谷 の処理期間における 豊水・平水・低水・渇水各流出量の経年変化
Annual changes in plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on T.-K.

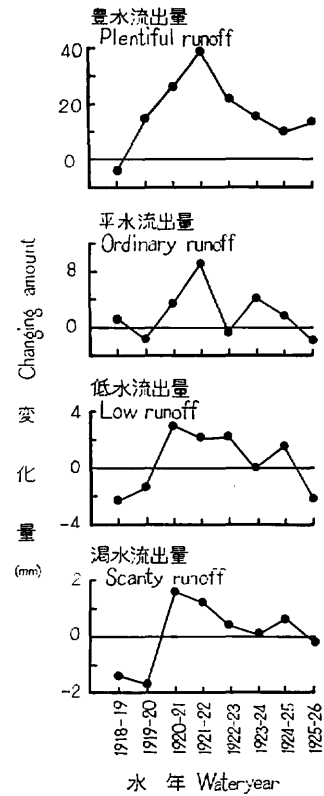


Fig. 19 Wagon Wheel Gap-B の処理期間における 豊水・平水・低水・渇水各流出量の経年変化
Annual changes in plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on W.-B.

あるが、年流出量の場合とまったく類似の傾向を示すことがみられ、また降水など気象条件の違いが増加量の変動を大きくしているものと推量された。

(b) 平水流出量

(i) 上川—北谷

第1年の無変化は影響期間が短かったことに符合しよう。

第2～4年に漸次増加量が大きくなっていることは、伐採・搬出作業の進捗、したがって植被量の漸減に符合しているようにみられる。

第5年には、一方で伐跡地にクマイザサその他草本が侵入したが、沢沿いの風害時に残存した林分の大部分が伐採されたため、流域全体としての植被は最も少なくなったと考えられることに符合しよう。

第6年で増加量が小さくなったことは、再生樹草の生育が著しくなったことに符合しよう。

年流出量や豊水流出量の場合では植被が減少し、かつ林地地表の荒れが最もはなはだしかった3年目に大きな増加が符合したとみられたが、これらと異なり、増加量が比較的明らかに植生量の減少に符合しているかのようにみられる。これは平水流出量が地下流出水に依存する程度が年・豊水両流出量よりはるかに大きいと考えられるなど、流出量の性質に原因するものと考えられる。逆に、このことが流出量の性質の違いを示すともみられる。

増加率・流出率の増加についても傾向は同じであった。

(ii) 釜淵-2号沢

増加量と植被変化の経年的符合関係は、簡単ではない。ただ、1959-60水年以降の全体に大きい増加量は、階段工の築設に符合しよう。

各分期の平均値 (Fig. 16 中の破線) をみると、増加量は 8, 13, 20, 38mm; 流出率の増加は 0.3, 0.6, 0.7, 1.4%; 増加率は 5, 7, 10, 18% となり、植被変化との符合関係ははっきりしない。

ともかく、植被の変化よりも降水など気象条件による変動が大きいことが考えられる。

平水流出量はその定義あるいは区分の仕方からして、直接流出量と地下流出量（主として中間流出量と考えられるが）の混合した流出量で、年流出量や豊水流出量のように直接流出量が支配的であるというのではなく、また低水流出量や湧水流出量のように、ほとんど地下流出量（主として地下水流出量と考えられるが）によって支配されるというのでもないため、これら流出量に比べて地表植被や降水などの影響がより複雑であるため、上記のように不明りょうになることも考えられる。

(iii) 竜の口山-南谷

大部分の年で高度に有意な増加がみられ、年・豊水両流出量の場合に比べてきわめて顕著な事実である。ただこれらの増加量と植被の変化との経年的符合関係は必ずしも簡単ではない。

第1年の増加量が小さいことは、影響期間の短いことに符合し、第2年の大きい増加量は植被の激減に符合しよう。

第3年以降1953水年までは流域は放置され、再生樹草がしだいに繁茂していったのであるが、増加量の変化は年によりきわめて異なり、必ずしも単純ではない。1954水年以降地ごしらえ（下刈）が毎春行なわれたが、やはり増加量は年により異なり、植被変化との符合関係は単純ではない。それらの理由はやはり降水量等気象条件の変動にあると考えられる。しかし、少なくとも皆伐の完了した年、山火事による植生の激減が起こった年に大きく、かつ高度に有意な増加が符合していることは指摘できる。

皆伐終了年に増加量18mm, 流出率の増加1%, 増加率106%であったが、その後の各分期の平均値 (Fig. 17 中の破線) ではそれぞれ10, 8, 12, 15mm; 0.8, 0.6, 1.1, 1.1%; 54, 44, 99, 84% となり、平均的には植被の経年変化との符合がほぼ認められる。

(iv) 竜の口山-北谷

処理期間のほぼ半分の年に高度に有意な増加が認められ、しかもこれらが、期間の前半に集まっているのが顕著な事実として認められる。このことは大勢として皆伐され、その後放置されて樹草がしだいに再生・発達していった、ふたたび雑木林が生立していった植被の経年変化と符合することを示している。

皆伐の完了年に大きな増加量が符合するが、その後の各年にかなり異なった増加が起こっているのは植被変化よりも、気象条件の変化がこれにより強く影響しているためと考えられる。

各処理分期の平均値（Fig. 18 中の破線）で全体の傾向をみると、主たる伐採が行なわれた年に増加量 22mm, 流出率の増加 1.5%, 増加率 141% であったものが、その後の分期ではそれぞれ 13.2, 1.6, 0.9 mm; 1.0, 0.2, 0.1%; 74, 14, 4 %となっている。豊水流出量の場合と異なり、溪岸伐採期にも増加量が小さくなっているが、全体として皆伐と再生、植被の漸増との経年的符合が認められる。

（v） Wagon Wheel Gap-B

年・豊水両流出量の場合のように、植被の経年変化と単純な符合関係はないが、おおよそ 4 年目まで植生量の減少と符合して増加量は漸次大きくなり、その後放置されて樹草の回復に符合して漸次小さくなり、最後の年には減少となったとみられる。

増加率・流出率の変化についても、ほぼ同様の傾向であった。

（c） 低水流出量

（i） 上川—北谷

第 1 年の小さい変化量は影響期間の短いことに対応しており、その後 3 年目まで増加量が大きくなることは伐採・搬出作業の進ちょく、したがって植被量の漸減に大体符合しているとみられる。しかし、4 年目およびそれ以降の変化については簡単に説明できない。おそらく冬期間の平均最高気温、その他の気象条件の変動に符合するものと考えられる。

増加率・流出率についても傾向は同じであった。

（ii） 釜淵—2 号沢

第 1 年および第 2 年の比較的大きい増加量が皆伐後の最少植被量に対応し、以後草地状態になったのに対応して、はじめの 2 年間のそれよりは小さい増加量となっている。

階段工期には明らかに、ふたたび大きくなった増加量に対応している。

しかし、各年を詳細に比較すれば、植被変化と符合しないとみられる変動があり、これらは気象条件の変動と符合するものと考えられる。

しかしながら、平均的傾向としては流出量の変化と植被状態の変化が、経年的に符合しているといえるようで、これを各分期の平均値（Fig. 16 中の破線）でみると、増加量は 15, 12, 11, 22mm; 流出率の増加は 0.6, 0.5, 0.4, 0.8%; 増加率は 19, 21, 14, 25% となり、伐採による植被の著減に対応して大きく増加し、その後地被状態の回復に符合して増加が小さくなり、ついで階段工築設に符合して大きくなっていく傾向が認められる。

（iii） 竜の口山—南谷

1945 永年に皆伐が終了し、松根の掘り取りが行なわれ、植生減少と林地地表の荒れが最もはなはだしかったと考えられるのに符合して、比較的大きい増加量がこれに対応している。第 1 年の小さい増加量は、影響期間の短かったことに対応している。

皆伐後放置期・下刈植栽期には樹草の再生に対応して、皆伐年のそれより小さい増加量が大部分の年でみられる。

山火下刈植栽期の初年には植生量の激減に符合して、ふたたび皆伐年のそれに匹敵する増加量となっている。しかしクロマツ植栽以後は、十分な下草をもったクロマツ幼齢林の成立にともなって、増加量が小さくなるきざしがみられると言えよう。

要するに、植被状態の変遷と流出量の変化に符合がおおよそ認められ、このことはさらに、各処理分期

の平均値を対比すると容易にわかる。すなわち、皆伐終了年に増加量11mm, 流出率の増加0.8%, 増加率112%であったものが、その後の分期の平均値 (Fig. 17中の破線) ではそれぞれ6, 4, 9, 6mm; 0.5, 0.4, 0.9, 0.6%; 56, 40, 136, 61%となり、上述の傾向を示している。

もちろん、各分期内での年による変動はかなりあり、これは降水量など気象条件の違いに符合すると考えられるが、このことは後に述べる。

(iv) 竜の口山—北谷

主たる伐採が行なわれた第1年に大きな増加量が対応し、その後数年間になお大きな増加量が継続したが、後年には減少する場合も多くなり、明らかに伐採による植生量の著減とその後の樹草の再生による増加量の減少あるいは伐採前の流出状態への復帰の傾向が対応している。

このことは各処理分期の平均値をとればさらに明らかになる。すなわち、第1年の増加量11mm, 流出率の増加0.8%, 増加率118%が、その後の分期の平均値では6, 0.1, -0.6mm (Fig. 18中の破線); 0.5, 0.0, -0.0%; 55, 5, -6%となり、符合関係を端的に示している。

注意を要するのは、溪岸再生林分伐採の影響が、豊水流出量のように再度の増加としてあらわれていないことである。

各分期内で、各年ごとの変動は激しい。このことは後述するが、気象条件の影響と考えられる。

増加率・流出率の変化についても傾向は同様であった。

(v) Wagon Wheel Gap-B

第1年に高度に有意な減少があったが、第2年には減少量が小さくなり、その後は増加量となり、以降ふたたび増加量が小さくなって、後年にはさらに減少となるという経年的傾向が植生処理、したがって植被量の経年傾向と符合する。

第1年の有意な減少その他変動の一部は、当然気象条件の変動にも符合すると考えられる。

増加率・流出率の変化についても同じ傾向がみられた。

(d) 渴水流出量

(i) 上川—北谷

低水流出量とやや似た傾向を示すが、第3年の増加量が著しく小さいこと、後年における増加量の増大については、簡単に植被変化との対応関係を説明できない。渴水流出量の発生時期が積雪期に限られている (Fig. 12) が、おそらくこの時期のなんらかの気象条件に符合関係がみられるものと考えられる。

増加率・流出率についても同様の傾向がみられた。

(ii) 釜淵—2号沢

伐採年に大きな増加量が対応し、火入期末期には減少の場合がみられ、階段工期にはふたたび大きな増加量がみられ、およそ地被状態の経年変化との符合関係がみられる。

各処理分期ごとの平均値をみると、増加量3.9, 1.8, 0.6, 3.2mm (Fig. 16中の破線); 流出率の増加0.2, 0.1, 0.0, 0.1%; 増加率28, 24, 11, 18%となり、低水流出量と同様、伐採による林木の除去、その後の樹草の再生と階段工の築設に符合するようにみられる。

(iii) 竜の口山—南谷

皆伐完了年およびその後の数年に比較的大きな増加があり、その後概して増加量が小さくなり、山火下刈植栽期にはふたたび大きい増加量が現われている。各処理分期の平均値をとると、皆伐完了年に増加量

1.7mm, 流出率の増加0.1%, 増加率48%であったが, その後の各分期の平均値ではそれぞれ2.8, 2.1, 4.5, 1.9mm (Fig. 17 中の破線); 0.2, 0.2, 0.4, 0.2%; 63, 52, 168, 47% となり, 林木の除去, その後の再生樹草の生育・山火による再生樹草の消滅の地表悪化・再度の樹草の回復という植被の経年変化とはほぼ符合していると言えよう。

もちろん, 皆伐完了年では他に比べて割合に小さい増加量であったことや, 各分期内の年々の変動はなんらかの気象条件に符合することが考えられる。

(iv) 竜の口山—北谷

低水流出量の場合とはほぼ同様な傾向で, 主たる伐採が行なわれた翌年・翌々年およびその後の数年に, 比較的大きな増加量に対応し, その後再生樹草の発達に対応して増加量が小さくなっていき, 年によっては減少さえみられる傾向が明らかである。

第2年に増加量2.5mm, 流出率の増加0.2%, 増加率43%であるが, その後の各処理分期の平均値ではそれぞれ2.3, 0.2, -0.6mm (Fig. 18 中の破線); 0.2, 0.02, -0.04%; 53, 13, -12% となって, 上記の符合傾向を示している。

もちろん, 主たる伐採が行なわれた第1年の増加量が小さいことや, 各分期内の年々の変動にはなんらかの気象条件が対応することが当然考えられる。

ただ, 低水流出量の場合と同様に, 豊水流出量のように溪岸再生林分の伐採に対応して, 再度増加量が大きくなっていないことが注意される。

(v) Wagon Wheel Gap-B

低水流出量の場合とはほぼ同様な傾向で, 第1年・第2年には減少したが, 第3年以降は増加となり, 植被量の著減に大きな増加量に対応し, その後再生樹草の生育につれて, 増加量は小さくなっていった傾向が明らかである。

もちろん, 第1年・第2年の減少傾向や, その他各年の増加量の相対的変動には, なんらかの気象条件が符合するものと考えられよう。

VI-1-3. 季節流出量

IV-2 項の記載と Fig. 20~25により流域別に検討する。

(a) 夏期流出量

(i) 上川—北谷

林床のかく乱を含めて, 林木が除去された程度の推移と増加量とがかなり符合することがわかる。

すなわち, 第1年は短い影響期間に符合して小さい増加量であり, 第2年は風害跡地のまま放置されてはほぼ同様な増加で, その後伐採と搬出が進んで大きな増加量がこれらに対応して起こり,

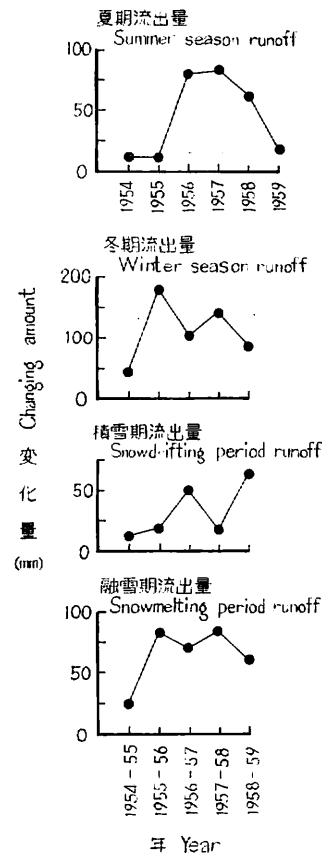


Fig. 20 上川—北谷の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on K.-K.

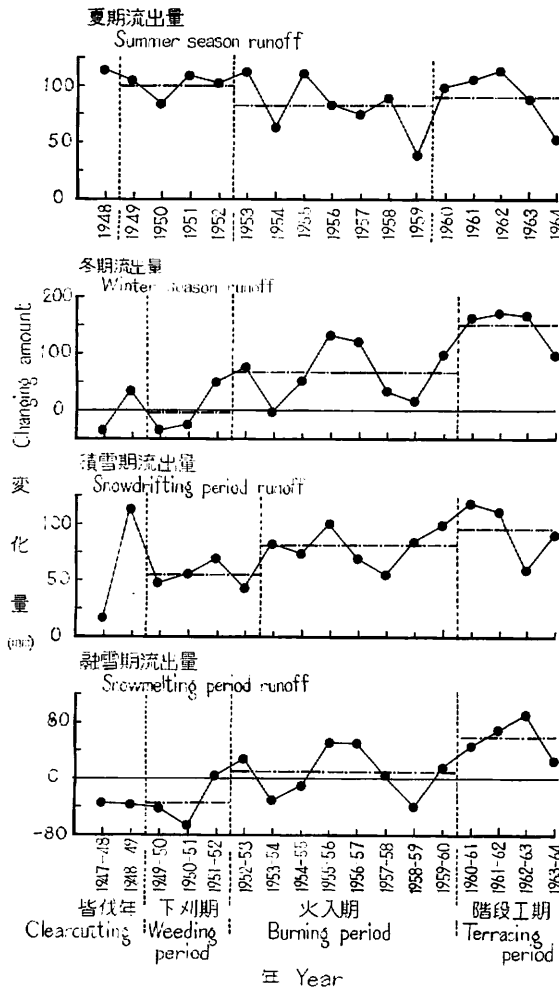


Fig. 21 釜淵一2号沢の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on K-2.

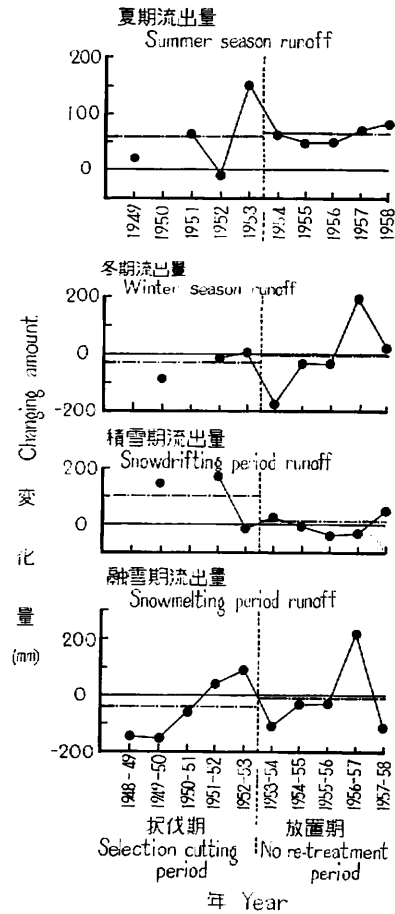


Fig. 22 宝川一初沢の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on T.S.

植生量が最少で地表かく乱が最大となった第4年に最大の増加量が符合している。さらに再生樹草が発達した後年には小さい増加量が符合している。

増加率・流出率の増加についても同じ傾向が認められた。

(ii) 釜淵一2号沢

皆伐と伐跡地の樹草の再生と発達、および階段工の築設におおよそ増加量の経年変動が符合しているとみられる。

各処理分期の平均値 (Fig. 21 中の破線) でみると、皆伐完了年には 115mm の増加量が、次の下刈期に 101mm、火入期には 83mm と小さくなり、下刈り・火入れという抑制処理があったものの、1 年をと

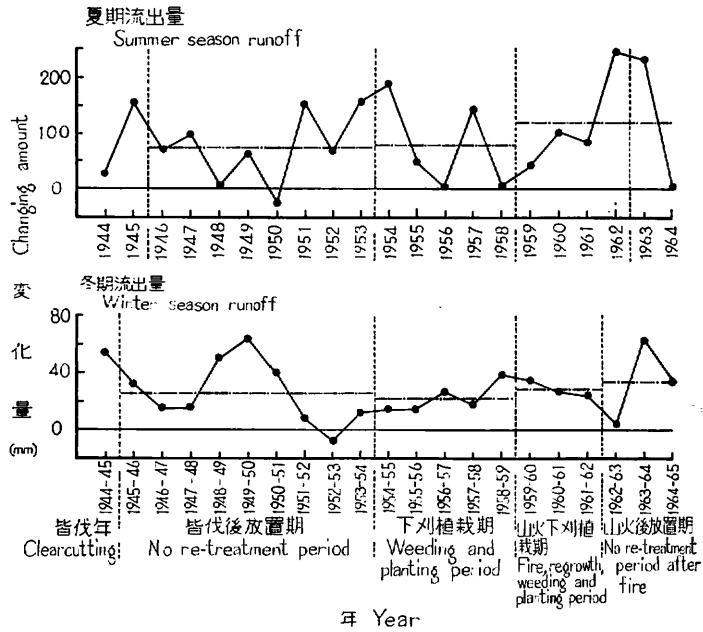


Fig. 23. 竜の口山一南谷の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on T-M.

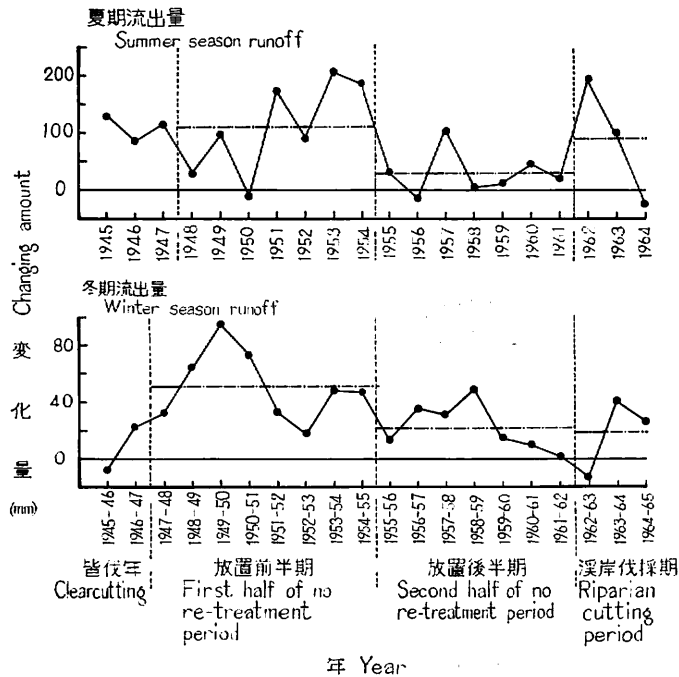


Fig. 24. 竜の口山一北谷の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on T-K.

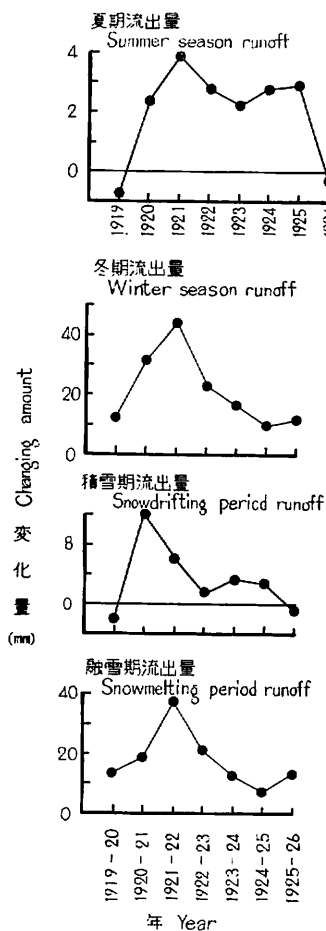


Fig. 25 Wagon Wheel Gap-B の処理期間における季節流出量の経年変化
Annual changes in seasonal runoffs for treatment period on W.-B.

おしてみれば再生樹草の発達がみられた後年に、増加量が比較的小さくなることが符合しており、その後階段工の築設により再生樹草がふたたび減少し、裸地面を生じた期間に93mmと再び増加量が大きくなった事実が符合している。

増加率・流出率の増加についても同様な傾向がみられた。

各分期内での年々の変動は、当然降水量などの気象条件に符合することが考えられる。

(iii) 宝川—初沢

植被の変遷と増加量のそれとの符合性は、十分明らかにできない。

しかし、択伐期の最後の年に大きな増加が符合し、その後放置期ではこれより小さいが、択伐初期のそれより大きい増加量となっていることが植被変化との符合性の一端を示しているのかも知れない。

増加率・流出率の増加についてもほぼ同様な傾向であった。

(iv) 竜の口山—南谷

各年の間の増加量の変動が非常に大きく、植被変化と増加量との間の符合性は判断が困難である。

しかし、各処理分期の平均値 (Fig. 23 中の破線) で傾向をみると、皆伐年で増加量は91mm、その後樹草の再生が許された放置期で75mmと小さくなり、下刈植栽期で80mmとわずかに大きくなり、さらに山火下刈植栽期で120mmと大きくなり、その後2か年の平均では同様の増加が継続した。皆伐完了年・山火発生後の数年間に比較的大きい増加量、最終年に著しく小さい増加量に対応していることも考え、植被の経年変化と増加量のそれとの符合性がいちおう言えよう。

増加率・夏期流出率の変化についてもほぼ同様な傾向が認められた。

(v) 竜の口山—北谷

南谷同様各年間の変動がきわめて大きく、符合性の判断は容易ではないが、放置後半期には明らかに増加量が各年とも小さくなっていることおよび次の各処理分期の平均値 (Fig. 24 中の破線) の傾向をみることから、植被量の経年変化と増加量のそれとの符合関係を、おおよそ認めることができよう。

すなわち、皆伐年で113mmの増加があったが、その後放置されて樹草の復旧が許された期間の前半では111mm、後半では30mmと著しく小さくなった。その後溪岸再生林分が除去された期間では91mmとふたたび大きくなっている。

増加率・流出率の増加でもまったく同様の傾向が認められた。

(vi) Wagon Wheel Gap-B

伐採に着手した第1年では減少であるが、その信頼度のきわめて低いことを考えると、ほとんど変化がなかったとも解され、影響期間の短かったことに符合しよう。

その後は増加がみられ、第3年に増加量は最大となり、その後はこれより多少とも小さいものとなり、最終年にはふたたびほとんど変化がないことになったこれらの経過は、伐採が進み、ついで樹草が伐跡地に再生し、発達していった経過と符合している。

増加率・流出率の増加についても、ほぼ同様な傾向が認められた。

(b) 冬期流出量

(i) 上川一北谷

風害とその後の風害跡地林の処分などによる逐年の立木密度の変化、搬出路の建設や集・運材による地表の荒廃の経年過程と、増加量の経年変化が符合している。

すなわち、第2～第4年は風害木と残存木の伐倒・搬出が行なわれ、明らかに立木密度は減少し、地表は荒らされたが、これに大きい増加量が対応している。これに対して、風害を受けたもののそのまま放置された第1年、および伐跡地に再生樹草がしだいに厚く復旧した第5年では、他の3か年のそれより小さい増加量が符合している。

増加率・流出率の変化についても同様な傾向であった。

(ii) 釜淵一2号沢

上層の林木を伐採・除去された跡地は低木と草となり、しかも冬期には低木のほとんどが落葉し、草は地上部がなくなる。さらに夏期における火入れや下刈りにより低木類は発達を抑制されている。したがって、冬期雪面上に現われている植被はあまりなく、下刈期・火入期など再生植被の処理による期間の区分は、融雪による出水を主とするこの流域の冬期流出量を考える場合には、いちおう無関係とも考えられる。

しかしながら、皆伐直後年・皆伐年・下刈期・火入期の平均値（Fig. 21 中の破線）でみると、変化量はそれぞれ-39, -3, -4, 66mmとなり、火入期は増加であったが他は減少となっている。これらのことは、上述のように、植被変化の関係ではなく、気温・その他気象条件の関係であろうと考えられる。また火入期の中ごろには流域周辺地区で伐採が行なわれ、吹き込み雪のため降雪量（積雪量）に影響を与えたかも知れない。さらにまた夏期流出量では、皆伐年・下刈期・火入期とも明らかに増加が対応したが、冬期流出量では逆に減少傾向が強いということになっている。これらのことについては、VI-2項でふれることとする。

階段工期には夏期流出量の場合と同様に明らかに大きな増加が符合している。

以上のことは、増加率・流出率の変化についても同様であった。

(iii) 宝川一初沢

欠測年もあり、年による変動が大きく、かなり高度に有意な増加と減少が1年ずつあるなど複雑で、植被変化との符合を簡単には指摘できない。おそらく気象条件にも関係するところが大きいためと考えられる。

増加率・流出率の変化についても同様であった。

(iv) 竜の口山一南谷

5つの処理分期の平均値（Fig. 23 中の破線）で傾向をみると、皆伐年には増加量は55mm、その後の

放置期は26, 下刈植栽期23, 山火下刈植栽期29, その後の放置期34mmとなり, 皆伐に大きな増加量が符合し, ついで樹草再生に対して増加量が小さくなったこと, 山火で樹草が失なわれたことに, 再度増加量が少し大きくなったことが対応しているとおおよそ言えよう。

しかし, 各分期内での各年間の変動はきわめて大きく, これらのことは気象条件の変動との符合で説明されるかも知れない。

増加率では伐採年の111%が, 後の2期の36, 56%のほぼ倍にもなり, 山火下刈植栽期がまた116%に大きくなり, その後は74%となることなどが植被の経年変化と符合しているといえよう。流出率の変化についてもほぼ同様であった。

(v) 竜の口山—北谷

4つの処理分期の平均値 (Fig. 24 中の破線) で傾向をみると, 皆伐年では9mm (皆伐完了年22mm) の増加であったが, その後放置前半期51mm, 後半期22mmで, 放置期間では再生樹草の発達, 増加量が全体として小さくなっていくことに符合しているようにみられる。

しかし, 皆伐年に増加量が比較的小さいことや, 放置期間でも各年における変動がきわめて大きいなどのことは, おそらく気象条件の変動と対応するものと考えられる。

増加率・流出率の変化についても同様のことがみられた。

(vi) Wagon Wheel Gap-B

年流出量・夏期流出量などの場合と同様に, 森林処理による植被・地表状態の経年変化と, 増加量の経年変化との明りょうな符合性が指摘できる。

(c) 積雪期流出量

(i) 上川—北谷

風害後の各年において, 積雪上に出る上層林木の立木密度の経年変化過程と, 増加量のそれとが第1年から第3年までは符合するのかも知れない。しかし, 第4年に増加量が小さいこと, および最後の年の増加量がきわめて大きいことについては, おそらく植被変化よりもなんらかの気象条件により強い対応関係があるものと考えられる。なお最終年の大きな増加については, 積雪面に出る上木が完全になくなったことに関連があるかもしれない。この関係については, 後で月流出量の変化の項で述べる。

増加率・流出率の変化についてもほぼ同じ傾向がみられた。

(ii) 釜淵—2号沢

処理期間全年にわたって, 積雪面を越す植生は無く, 積雪下の低木, 草もその状態は各年にほぼ同様であったものと考えられるから, 各年間の増加量の変動はおそらく主として融雪などに関与する気象条件の変動に対応するものとみられる。4つの処理分期の平均値 (Fig. 21 中の破線) でみても, 増加量は皆伐年65, 下刈期55, 火入期81mmで違いは必ずしも大きくない。

階段工期には大きな増加量が対応している。

増加率について同様な傾向がみられた。

(iii) 宝川—初沢

択伐期には欠測年もあり, 簡単に解釈できないが, 両分期の平均値 (Fig. 22 中の破線) でみると, 択伐期の増加量は103mm, 放置期のそれは11mmとなっている。これが植被変化に対応するかどうかは明確にできない。気象条件との対応関係は後に述べる。増加率についても同様な傾向であった。

(iv) Wagon Wheel Gap-B

第1年に少なくとも増加したとは言えない変化であること、第2年、第3年に大きな増加量となっていること、後年には増加量が小さくなり、あるいは少なくとも増加したとは言えない変化になっていることが、おおよそ積雪面を越す上木の密度の経年変化と符合しているとみられる。

増加率についてもほぼ同様の傾向であった。

(d) 融雪期流出量

(i) 上川—北谷

風害後の各年において、積雪上に出る上木の密度の変化過程と、増加量のそれが対応しているようにみられる。

すなわち、風害後放置された第1年は被害木・残存木で積雪面上に現われている植被の密度は後年より高く、これに少ない増加量が対応し、その後伐採・除去された第2～第4年に大きい増加量が対応している。しかし、増加量は第2年のそれよりは第3・第4年の小さくなる傾向がうかがわれ、最後の年には積雪面上の上木が、完全になくなったことに対応して増加量が小さくなっている。

なお次の対応関係が注目される。すなわち、前項で述べたように、第2年は積雪期流出量の増加量は比較的小さかったが、この年の融雪期流出量のそれは比較的大きい、第3年はこの逆で前者が第2年のそれに比較して大きかったが、後者は第2年のそれより小さい。同様にして第4年・第5年にも相互に逆方向で対照される関係がみられることである。このことについては、月流出量の項で詳細にふれるが、積雪期・融雪期の流出量の変化に積雪面上にある植被の変化と気温・日射などの気象条件が相互関連してはたらし、両期の合計流出量の絶対量の増加と同時に、積雪面上にある植被の減少による融雪時期の促進による流出量の時期的分配の変化があることに関係していると考えられる。各年間の変化量の違いに、なんらかの気象条件が対応することは当然考えられる。

増加率についてもほぼ同様の傾向がみられた。

(ii) 釜淵—2号沢

皆伐完成の冬期では、積雪期流出量が非常に大きな増加を示したのに反して、融雪期流出量は減少となっていることが注目される。他の処理分期内にもこのような対応関係がみられる。各処理分期の平均値（Fig. 21 中の破線）をとっても、皆伐年35mmの減少、下刈期35mmの減少、火入期9mmの増加で、積雪期流出量がすべての増加で大きい量であるのと対照される。このことから、上川の場合と同様、積雪面上にある植被がなくなったことによる融雪時期の促進による流出量の時期的分配の変化が考えられる。

階段工期では明らかに増加が対応していると言えよう。

もちろん、各年の変化量の複雑な変動にはなんらかの気象条件が対応することが考えられる。

(iii) 宝川—初沢

この流域でも、積雪期流出量の変動傾向と融雪期流出量のそれとが、逆になる傾向がほぼみとめられる。やはり積雪面上の植被が減少したことによる、融雪促進に基づく流出量の時期的分配の変化の影響が考えられる。択伐期・放置期の平均値（Fig. 22 中の破線）で変化量をみると、前者が43mmの減少、後者が12mmの減少で、積雪期流出量ではいずれも増加となっているのと逆の対応関係にあることがわかる。

もちろん個々の年の間で、大きな変動があることについては各種の気象条件が対応することは当然考えられる。

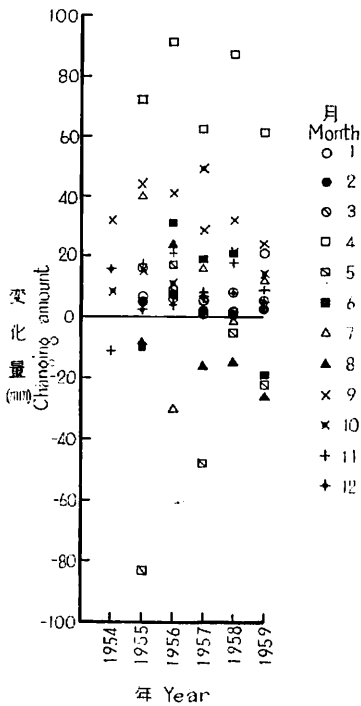


Fig. 26 上川—北谷の処理期間における月流出量の経年変化
Annual change in monthly runoff for treatment period on K.-K.

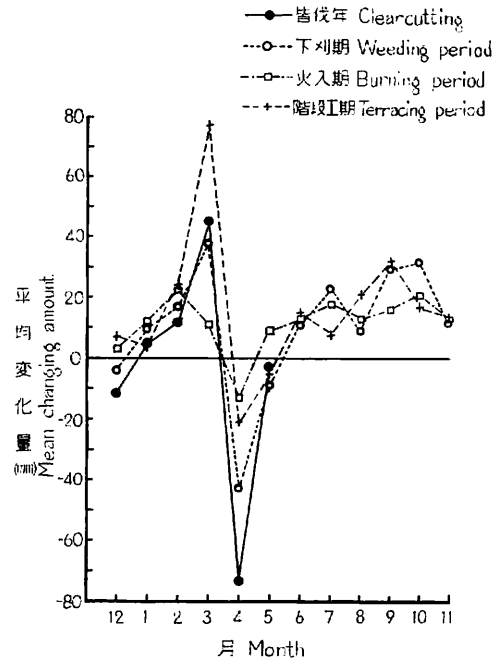


Fig. 27 釜淵—2号沢の処理期間における月流出量の変化量の処理分期別平均値
Mean changing amounts in monthly runoffs by part of treatment period on K.-2.

増加率についてもほぼ同様な傾向がみられた。

(iv) Wagon Wheel Gap-B

ここでも積雪期流出量の増加が、前後の年のそれより相対的に大きい冬期では、融雪期流出量の相対的に小さい増加量に対応し、逆に前者が相対的に小さい冬期では後者の相対的に大きい増加量に対応するという関係がみられる。このような形で、植被の経年的変化と増加量のそれとが、よく符合していると言えよう。

VI-1-4. 月流出量

月流出量については、前述のように、必ずしも回帰解析の精度が高くないなどのため変化量の変動は激しく、植被変化との経年的対照は簡単ではないが、IV-2項の記載と Fig. 26~31 により概略の傾向をつぎに述べる。

(i) 上川—北谷

各年に変動は激しいが、9・10・11各月および4月の場合は処理開始年に小さい増加量、植被減少の進むにつれて増加量が大きくなり、再生樹草の生育した後年にはふたたび小さくなるという、年流出量の場合にみられた符合関係がほぼ認められる。

5・6・8各月の場合では処理後第1年に減少、その後増加になり、ふたたび後年に減少となる形で植

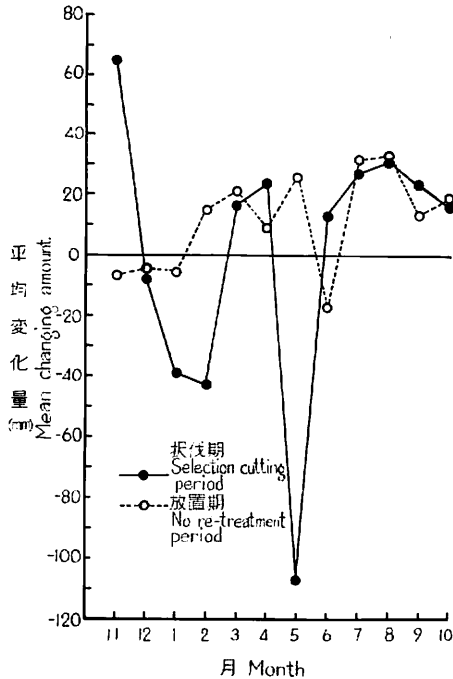


Fig. 28 宝川一初沢の処理期間における月流出量の変化量の処理分期別平均値
Mean changing amounts in monthly runoffs by part of treatment period on T.-S.

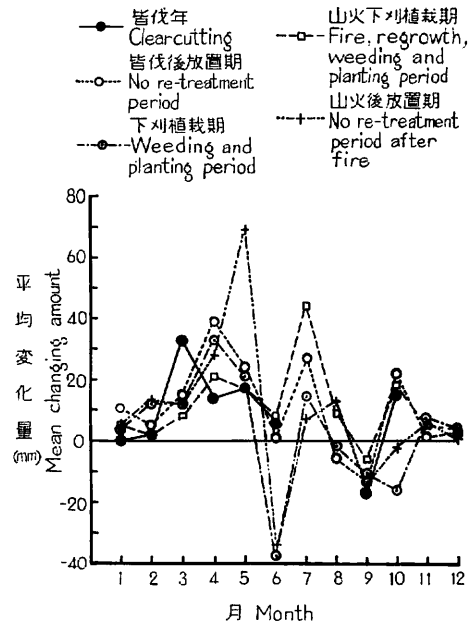


Fig. 29 竜の口山一南谷の処理期間における月流出量の変化量の処理分期別平均値
Mean changing amounts in monthly runoffs by part of treatment period on T.-M.

被の経年変化と対応している。

12～3月の4か月の場合は処理後第1年に増加，その後伐採のすすむにつれて増加量が小さくなり，樹草の再生とともにふたたび増加量が大きくなる形で符合している。

しかし，とくに7月の場合でみられるように各年の変動は大きく，これにはなんらかの気象条件の変動も対応していると考えられる。

(ii) 釜淵一2号沢

各年に変動が激しく，各月ごとに植被変化と符合関係を確かめることは困難である。

4つの処理分期の平均値を求めると，各月の平均値の増減傾向がほぼ同様であることがみられる。その傾向は4・5月の融雪期後半に減少，その他の月では増加となるが，とくに融雪期前半の3月の増加量が著しく大きいことがわかる。また6月から10月まで全体として増加量が逐次大きくなり，11月にふたたび小さくなる傾向のなかで，7月あるいは8月に小さくなる傾向がみられる。しかし，各月ごとの平均値の変化と，植被のそれとの経年的符合関係は明りょうではない。ただ，変化量の大きい3月の増加量と4月の減少量についてみると，皆伐年において変化量が最大で，再生樹草の発達とともに下刈期・火入期の順に小さくなっていく形で符合関係がみられる。また12～3月の4か月についても同様な順序で減少から増

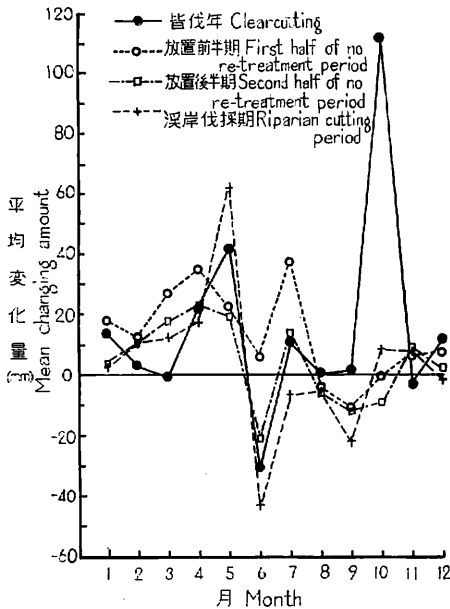


Fig. 30 竜の口山—北谷の処理期間における月流出量の変化量の処理分期別平均値
Mean changing amounts in monthly run-offs by part of treatment period on T.-K.

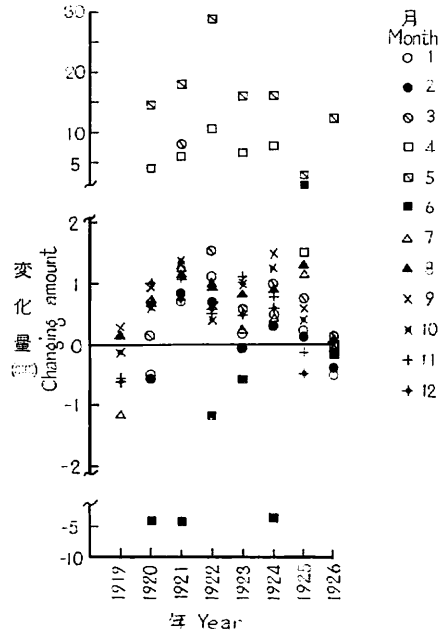


Fig. 31 Wagen Wheel Gap-Bの処理期間における月流出量の変化量の経年変化
Annual change in changing amount in monthly runoff for treatment period on W.-B.

加へあるいは小さい増加から大きい増加へといった形での符合関係がみられる。6～11月の間では、8月の特別な場合を除いて下刈期より火入期の方が増加量が小さくなる傾向がうかがわれる。

これらを総合すると皆伐年に起こった変化量の各月間の大きな変動が、再生樹草の発達にともなってしだいに小さくなり、いわば各月間での一様化がすすむ傾向が認められる。

もちろん、このような複雑な変動になんらかの気象条件が対応していることは明らかである。

(iii) 宝川—初沢

変動が激しく、各月ごとの符合関係を指摘することは困難である。

両処理分期の平均値でみると、わずかに放置期の植被回復に符合して各月間の変動の程度が択伐期よりも放置期に小さくなり、一様化が進む傾向が推量される。

(iv) 竜の口山—南谷

変動が激しく、各月ごとに植被との経年的符合関係を明らかにすることは困難である。おそらく、なんらかの気象条件との対応関係の方が明らかであろう。

しかし、処理分期の平均値でみると、皆伐後放置期と下刈植栽期とでは、多くの月で後者の方が変化量が小さいことがみとめられる。これは下刈植栽期では下刈の行なわれた月とはともかく、1か年を通ずれば放置期よりも植被が密であったと考えられることと符合するのかも知れない。

ただ釜淵の場合と同様に、各分期に共通な各月間の変動傾向が明らかにみられる。すなわち、1月から

4 月にかけて逐次増加量が大きくなり、5 月で少し小さくなり（山火後放置期は例外）、6 月では減少かあるいはきわめて小さい増加量となり、7 月にはふたたび大きい増加、8 月には小さい増加か減少、9 月には減少、10 月には減少または増加、11～12 月は小さい増加となる。

（v） 竜の口山—北谷

ここでも変動が激しく、各月の符合関係をたしかめることは容易ではない。気象条件による変動がきわめて大きいことなどのためと考えられる。

しかし、南谷の場合と同様に、放置前半期よりも後半期において再生樹草がより発達したことに符合して、多くの月で変化量が前半期の増加量より後者のそれの方が小さいといえるのかもしれない。

また南谷と同様にして、各月間の変動傾向は各分期間にはほぼ共通であることが認められる。

（vi） Wagon Wheel Gap-B

前述の日本の 5 流域の場合に比べて、気象条件の経年的一様性が比較的高く、また基準流域の類似性の高いこの流域では、かなりよく植被変化と変化量の経年的符合が指摘できる。

すなわち 6 月の場合を除いて、他の月ではすべて第 1 年で小さい増加量か小さい減少量となり、その後伐採のすすむにつれて増加となり、後年伐跡地に再生樹草が発達するに至って、小さい増加量となっている。もっとも 3～5 月については次に述べることも関連して、少し他の月と変動傾向が異なる。

6 月は融雪期の後半にあたり、日本の積雪流域と同様、積雪面に現われている植被がなくなって融雪が促進されるため、融雪流出量の分配が 3～5 月に多くなるため減少となっているが、やはり最終年には再生樹草の発達に符合して、小さな減少量に復帰しているとみられる。

VI-1-5. 増水量および増水ピーク流量

前各項で述べてきたように、年流出量はじめ各期間の総流出量の変化量が、伐跡地における植被の経年変化に符合して変化することが知られた。これらの総流出量は、各期間内に起こった増水量の合計量によって大部分を占められる。したがって、増水量・増水ピーク流量についても同様の経年的符合関係が当然考えられるはずである。

しかしながら、V-2-5. および V-2-6. 項ですでにふれたように、増水量と増水ピーク流量の変化量は出水時の初期水位と、関連一連続雨量、雨量強度に強く左右されることがほぼ明らかである（詳細は VI-2-5）ので、このことを考慮して次のように検討した。

増水量については、その変化量と一連続雨量の関係を初期水位階級別に、さらに植被の処理分期間に検討した。すなわち釜淵では、皆伐年・下刈期・火入期の 3 分期間の比較、竜の口山では皆伐年・放置前半期・放置後半期の 3 分期間の比較で検討した。

しかしながら、ともに、処理分期間におけるこれらの関係の違い、したがって植被の経年変化と変化量のそれとの明りょうな符合関係を認め得なかった。この理由は、たまたま各処理分期間で資料数（出水の数）がきわめて不均等に分配されていて、比較が困難であったこと、しかも一連続雨量・初期水位・植被以外にもきわめて多数考えられる影響条件によって、変化量の変動が激しいことなどのためと考えられた。これらの関係の図示は省略した。

増水ピーク流量については、その変化量と最大 1 時間雨量の関係を、初期水位階級別に、さらに前述のような植被の処理分期間に検討した。

しかし、やはり増水量の場合と同様に、明りょうな符合関係を認め得なかった。ただ竜の口山の場合、

- 豊水率 Rate of plentiful runoff □ 低水率 Rate of low runoff
○ 平水率 Rate of ordinary runoff + 渴水率 Rate of scanty runoff

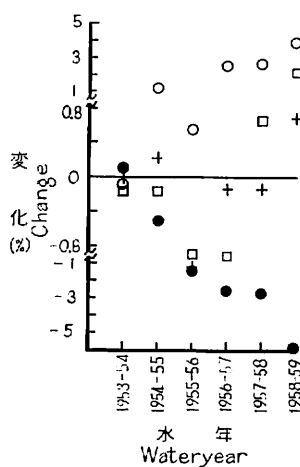


Fig. 32 上川—北谷の処理期間における豊水・平水・低水・渴水各率の経年変化
Annual changes in rate of plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on K.-K.

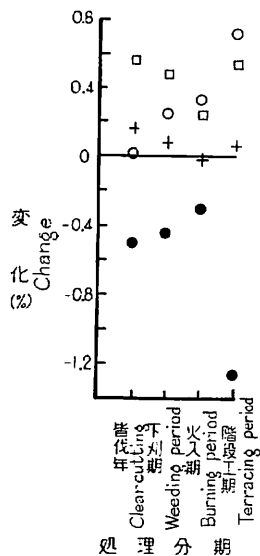


Fig. 33 釜淵—2号沢の処理期間における豊水・平水・低水・渴水各率の処理分期別変化
Mean changes in rate of plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs by part of treatment period on K.

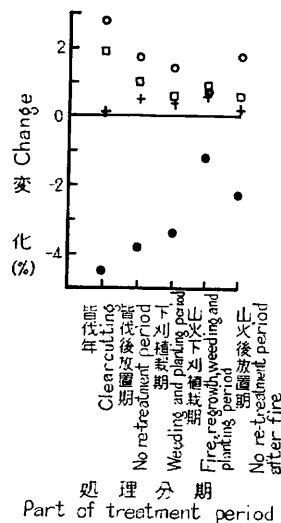


Fig. 34 竜の口山—南谷の処理期間における豊水・平水・低水・渴水各率の処理分期別変化
Mean changes in rate of plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs by part of treatment period on T.

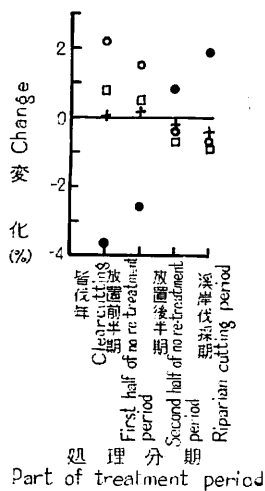


Fig. 35 竜の口山—北谷の処理期間における豊水・平水・低水・渴水各率の処理分期別変化
Mean changes in rate of plentiful, low, and scanty runoffs by part of treatment period on T.-K.

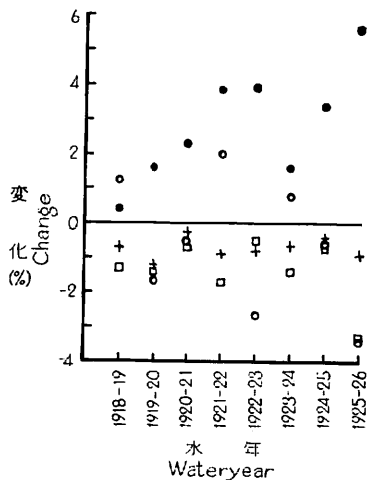


Fig. 36. Wagon Wheel Gap-Bの処理期間における豊水・平水・低水・渴水各率の経年変化
Annual changes in rate of plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for treatment period on W.-B.

一部で雑木林がほぼ成立した放置後半期に、変化量が小さくなる傾向がうかがえた。符合関係を認め得なかった理由は、増水量の場合と同様と考えられた。それらの関係の図示も省略した。

VI-1-6. 豊水・平水・低水・渇水各率

これら各率の変化は数値的にはきわめて小さい上に、値の信頼度も必ずしも高くないが、森林の影響を定性的に考える意義があると考えられるので、つぎに流域別に伐採、そしてその後の伐跡地の植被状態と各率の変化との対応関係を、IV-2項の記載と Fig. 32~36 により検討する。

(i) 上川—北谷

森林の伐採により豊水率は減少し、減少の大きさは林木除去の進行とともに大きくなり、伐採終了後伐跡地に樹草の再生がみられた最終年にも、なお大きな減少量がみられる。これに対して平水率はまったく逆の経年傾向で植被の変化と対応している。とくに積雪上に現われる植被の多少の経年傾向と符合しているとみられる。

低水・渇水両率については、林木処理の進展につれて減少の大きさが大きくなり、処理が終了し、樹草が回復すると増加の方向に転換することが植被変化の過程と対応している。

そして、伐採完了後は豊水率が小さく、平水・低水・渇水各率が大きくなった。

このように複雑になる理由については後に述べるが、豊水・平水・低水・渇水各流出量の基準期間における季節的分配が、重要な関係をもっている。すなわち、林木除去による融雪促進によるこの分配の変化、生育期における蒸発散損失、あるいはこの両者の影響のかねあい関係が原因として考えられる。もちろん個々の年の変化程度は気象条件などにも対応して、複雑となっている。

(ii) 釜淵—2号沢

個々の年の各率の変化の大きさは変動がはげしく、簡単には経年的符合傾向を調べ得ないので、処理分期の平均値でみる。

豊水率は皆伐により減少したが、その大きさは、再生樹草が1年間を通じてみれば発達していった下刈期、火入期の順に、逐次小さくなり、伐採前の状態に復する傾向がうかがわれる。逆に低水・渇水両率は増加したが、その大きさはやはり、下刈期・火入期の順に小さくなり、旧に復する傾向がうかがわれる。平水率は増加し、下刈期・火入期の順に大きくなっている。それぞれこのような形で、植被変化と経年的対応関係にあるが、このようになる理由は4種類の流出量の季節的分配と、林木除去による融雪促進および蒸発散損失によって説明されるが、これは後に述べる。

階段工期には明らかに、豊水率の大きな減少と、これに対応して他の種の率の増加が対応している。

(iii) 竜の口山—南谷

処理分期の平均値で検討すると、豊水率は皆伐により大きく減少し、逆に平水・低水・渇水各率は増加したが、いずれも後年に至るにつれてその大きさが逐次小さくなり、伐採前の状態に復していく傾向がみられる。これは下刈りが行なわれた時期もあったものの、1年間を通じてみれば、再生樹草の発達で植被量が増加していったと考えられる過程と対応している。

この傾向は山火下刈植栽期およびその後の放置期で乱れているが、このことはおそらく、この両分期ではそれぞれ年数が小さいこともあって、降雨のあり方などの影響がそのまま現われたなどの特別の事情によるものといちおう考えられるが、あるいは山火による植被の変化と対応するものかも知れない。ともかくここでは、一概に断定できない。こんごの継続検討が必要であろう。

(iv) 竜の口山—北谷

4つの処理分期の平均値でみると、皆伐年・放置前半期では南谷の場合と同様の符合関係がみとめられるが、後半期および溪岸伐採期では異なっている。すなわち豊水率が増加し、他の3種が減少となっている。このことも南谷における山火以降の時期の場合と同様に、特別の事情によるものとも考えられるが、あるいは溪岸伐採が行なわれたものの1年全体としてみれば、再生樹草の発達は著しく、このため平水・低水・渇水各流出量の減少がみられ (Fig. 18), このため相対的に豊水率が大きくなったとも考えられる。いずれにしても、こんどの検討をまつほかあるまい。

(v) Wagon Wheel Gap-B

伐採により豊水率は増加し、低水・渇水両率は減少したが、伐採の進行につれて豊水率は逐次大きくなり、伐採が終了して伐跡地に再生樹草が発達してきたと考えられる後年にも大きな増加がみられ、積雪面上の植被の経年変化に対応しているのに対して、低水・渇水の減少の大きさはこのような傾向がなく、年によって大きくなり、あるいは小さくなっている。平水率では年により増加となり、あるいは減少となっており、植被変化との対応関係は簡単には指摘できない。しかし豊水率の個々の年の変動と他の3種の変動の合計との間には多少の符合関係がみられるから、これら3種の変動はおそらく気象条件に対応するものと考えられる。

VI-2. 流出量の変化と気象条件

各流出量の年による変動の一部の原因が植被の変化にあることは、前項で述べたように経年的傾向から認められた。

しかし、個々の年の変化量を植被変化だけで説明できないことも明らかになった。植被変化以外の原因としては解析精度が不十分であることも考えられるが、降水・気温その他の気象条件が重要であることは当然考えられる。ことに降水が重要な因子であることは、降水がある限度以下ではたいした流出は起こらないはずで、したがって森林植生除去による変化も大きなものにはならないはずであるという極端な場合を想定すれば容易に推量できる。しかし、降水に限らず、気象因子の関係の仕方はかなり複雑なはずである。すなわち、量的だけでなく質的關係も考えられ、時間的・地域的分布も関係するなどと考えられるからである。したがって、流出量の変化と気象条件との関連を適確に調べることは容易ではないが、以下主として伐跡地の植被状態がほぼ同様とみられる期間について、得られる限りの資料によって検討する。

VI-2-1. 年流出量

(i) 年降水量との関係

各流域別にみたのが Fig. 37 である。

釜淵では、伐跡地の再生樹草になんらの人為も加えられなかった1958-'59水年 (Fig. 37, b の※の点) を除けば両者に高い相関関係が認められる。

さらに植被の状態がかなり類似していたと考えられる下刈期・火入期で、同様の関係をみても同じで、植被条件が同じならば、増加量は年降水量に比例して大きくなっている。下刈・火入両期がほぼ同様な植被状態にあったとして、両期間の資料で年流出量の増加量 (ΔD) と年降水量 (P) の関係は相関係数 0.889 で、直線関係だとすると、次式 (Fig. 37, (b), 下側の線) で表わせよう。

$$\Delta D = 0.1836 P - 340 \quad (\text{釜淵—2号沢, 下刈期・火入期})$$

また切取階段工が築設された期間についても同様にして相関係数 0.820 で、直線関係だとすると、次式

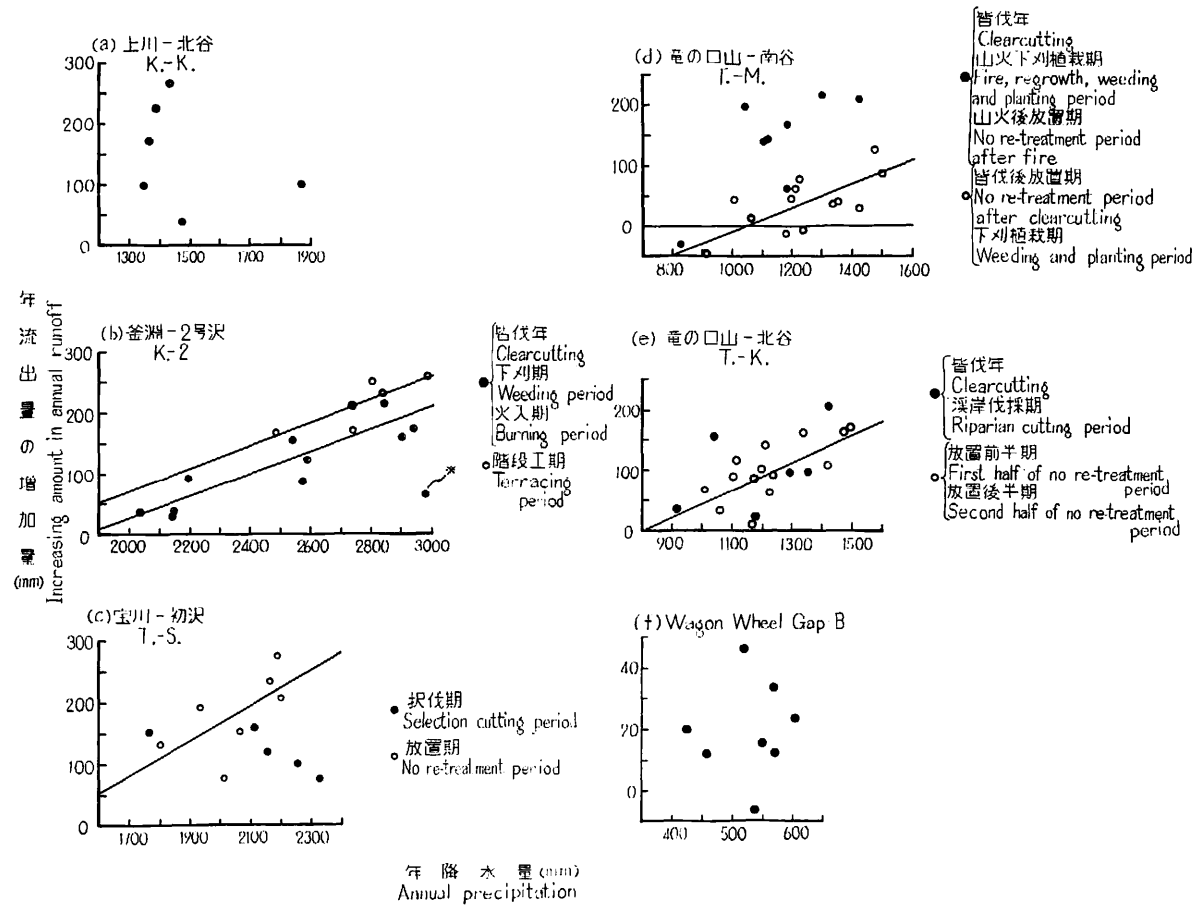


Fig. 37 年流出量の増加量と年降水量の関係
Relation between annual precipitation and increasing amount in annual runoff.

(Fig. 37, (b), 上側の直線) で表わせよう。

$$\Delta D = 0.1881 P - 303 \quad (\text{釜淵-2号沢, 階段工期})$$

宝川では処理期間の全年にわたってみると、はっきりした関係は認められない。しかし、林況の差がかなり小さいと見られる択伐終了後の放置期についてみると、両者にかなりの相関関係がうかがわれ、直線関係だとして、次式の関係(相関係数0.624)が認められる。

$$\Delta D = 0.2822 P - 397 \quad (\text{宝川-初沢, 放置期})$$

しかし、択伐進行中の期間では関係が単純でない。

竜の口山-南谷では、処理期間の全年にわたって両者の関係をみると、増加量は降水量と正の相関関係にあることが認められる。植被状態がほぼ同様とみなされる期間に分割して見ると、それぞれの期間で同様な関係が明らかに認められる。皆伐後放置期と下刈植栽期を通じると、直線関係だとして、次式(相関係数0.793)で両者の関係が表わされる。

$$\Delta D = 0.2006 P - 209 \quad (\text{竜の口山-南谷, 皆伐後放置期・下刈植栽期})$$

なお皆伐後放置期よりも下刈植栽期、さらにこれらよりも山火下刈植栽期の方が、同じ降水量でも増加量が平均的に大きくなっていることもみられる(Fig. 37 (d))。

竜の口山-北谷では、処理期間の全年にわたって両者が比例関係にあることが明らかである。放置期全体では直線関係にあるものとして次式(相関係数0.699)で示される。

$$\Delta D = 0.2135 P - 164 \quad (\text{竜の口山-北谷, 放置期})$$

以上の各式で興味のあることが2つある。

1つは P の係数が各流域で大差がないことである。定数(縦軸切片)は流域で異なり、あるいは地域性があるのかもしれない。

他の1つは、竜の口山の両谷で前掲の式が信頼できるとすれば、この式から南谷では年降水量1040mm以下で、また北谷では768mm以下で変化が減少となることである。これらの年降水量は竜の口山では過去の例からも十分起こりうるものである。

これに対して釜淵の2つの式では1851, 1611mm以下の年降水量で変化が減少となるが、この地域ではこのような少雨は過去にまったく経験されなかったし、こんごも無いとほぼ予想される。宝川でも限界の年降水量は1407mmとなるが、これも既往まったく経験されなかった量である。したがって、竜の口山と異なり、釜淵・宝川では減少する場合はほとんど考えなくてよいのかも知れない。

上川・Wagon Wheel Gap では、上述の4流域と異なり、両者間に簡単な関係が認められない(Fig. 37 (a)・(f))。これは森林の処理開始後、年々大きく植被状態が変化したことの方が、強く影響しているためと考えられる。

なんらかの方法で森林植生を除去し、あるいは生育活動を停止させると年流出量が増加する。その後伐跡地の植被を同じ状態に保持すると増加量の大小はほぼ降水条件でできる。しかも年流出量の変化量は、降水条件中でも、年間の総降水量できまり、これが大きいとき増加量も大きいと言える。そして、ある限度以下の年降水量の下では減少することもありうると考えられる。前述の例では、各年の個々の増加量の推計学的信頼度は必ずしも高くないものが含まれているが、全体をグループとして考えるときは以上のような傾向が認められるとして異論なからう。HIBBERT³³⁾, REINHART³⁴⁾, その他も傾向として認めている。

以上のことが正しいとすれば、もし年降水量の各年間の変動が小さいときは増加量は、伐跡地での植生

の自然回復によく符合するはずである。このことは、Coweeta-13, 17流域における試験の例で明りょうである。Coweeta では年降水量の経年変動は小さい、少なくとも日本の多くの地域に比べてかなり一様のようなのである。Fernow でも同様のようで、いま Fernow の9か年の年降水量の範囲をみると1280～1750mmで、これは平均1500mmの85～116%にあたる。同様のものは上川1219～1874 (平均1453) mm, 84～129%; 釜淵2035～3374 (平均2625) mm, 78～129%; 宝川1764～2846 (平均2116) mm, 83～134%; 竜の口山622～1523 (平均1335) mm, 41～114%; Wagon Wheel Gap 425～604 (平均533) mm, 80～113%; Pine Tree Branch 719～1722 (平均1280) mm, 56～135%で、Fernow, Wagon Wheel Gap では日本の各流域に比べて各年間の変動が小さいことがうかがわれる。

なお年降水量の多少は豪雨の多少にかなり支配されることは明らかで、先に述べたように⁷³⁾、ある限度以上の日雨量の日数と増加量の関係を調べたが、以上とまったく同じ傾向が認められた。

以上述べた皆伐による年流出量の増加量と年降水量の関係は地域を異にしても、かなり共通な関係にあるものと推定できる。

いま資料の得られた上川—北谷、竜の口山—南谷および北谷、釜淵—2号沢、太田、Fernow-1, Wagon Wheel Gap-B, Coweeta-1, 3, 13, 17, 37 の12流域について、皆伐完了後の年流出量の最大増加量とその年の年降水量との関係を調べる。ただし Coweeta については、最大増加量の起こった年の降水量の資料がないので、Table 1 の平均年降水量を用いた。Coweeta では年ごとの年降水量の変動は比較的小さいので、傾向をみる程度では許されるであろう。

Fig. 38 にこの関係を示した。

流域によって森林植生・地形など流域条件がかなり異なるにもかかわらず、年降水量とともに増加量が大きくなることはやはり共通である。

しかし、全体としては点が分散している。この分散が何に因るかを明確にすることは容易ではない。しかしながら Table 1 で得られる資料の範囲で、各種流域条件と点の分散との関係を調べたところ、Fig. 38に示すように流域のおおよその方位で区分すると、それぞれまとまることが知られた。

このようなグループを分けると、年降水量と最大増加量とはそれぞれ資料の範囲ではほぼ直線的な関係にあることが推定され、次式 (相関係数 (I) 0.963, (II) 0.623) が得られる。

$$\Delta D = 0.2640 P - 122 \quad (\text{N向流域})^{(I)}$$

$$\Delta D = 0.0781 P + 29 \quad (\text{S向流域})^{(II)}$$

北西向流域では南東向流域より全体として年流出量の増加量が大きく、かつ年降水量の影響が強いらしいことが推量される。このことはすでに HIBBERT³⁶⁾ が Coweeta 試験の結果で示唆しているのと同様で

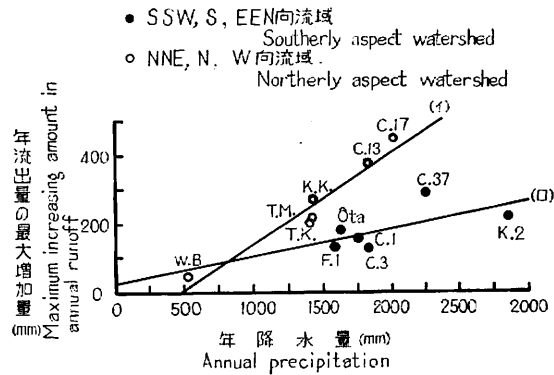


Fig. 38 年降水量と皆伐後の年流出量の最大増加量との関係
Relation between the maximum increasing amount in annual runoff after clearcutting and annual precipitation.

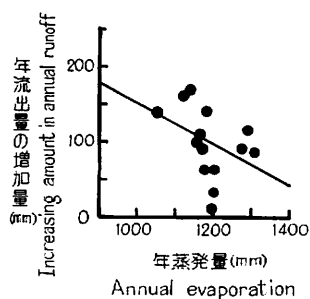


Fig. 39 釜淵一 2 号沢における年流出量の増加量と年平均日蒸発量の関係
Relation between annual mean daily evaporation and increasing amount in annual runoff on K.-2.

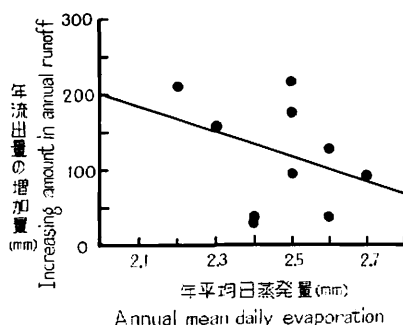


Fig. 40 竜の口山—北谷における年流出量の増加量と年蒸発量の関係
Relation between annual evaporation and increasing amount in annual runoff on T.-K.

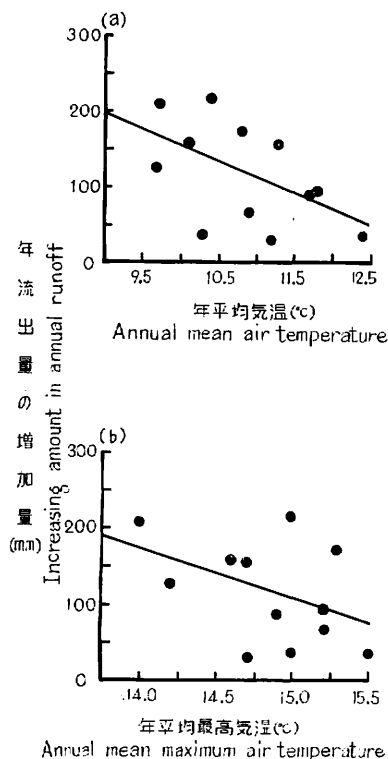


Fig. 41 釜淵一 2 号沢における年流出量の増加量と年平均気温・年平均最高気温の関係
Relations between annual mean air temperature and annual mean maximum air temperature and increasing amount in annual runoff respectively, on K.-2.

ある。

さらに北西向流域では年降水量がある限度以下では皆伐により年流出量が減少することがあり、南東向流域ではその可能性が小さいことが推量されることとなる。

しかし資料数が少なく、かつ精度の低い資料を含むため断定的なことは言えない。

ともかく方位と増加量に関係があるとする、このことは気象条件とくに日射・気温などに関連があることを推量させるものであり、伐採による流出量変化の理由を考えるとき重要なことであろう。また、上述のことから、年降水量の多い地方では伐採の影響が大きく、少ない地方では小さいことが類推されることとなる。

(ii) 気温・蒸発との関係

資料の得られた年平均気温・年平均最高気温・年平均日蒸発量との関係を調べた。ただし、竜の口山・Wagon Wheel Gap については、年蒸発量との関係も調べた。その結果、次の各点で関係が認められた。

普通蒸発計による蒸発量との関係については、釜淵の皆伐年・下刈期・火入期で増加量の大きい年が、年平均日蒸発量の少ない年にあたる傾向がわずかにうかがえる（相関係数 -0.338 , Fig. 39）。ただし、蒸発量の測定が中止されたため 2 年だけ資料が少ないし、階段工期については検討できなかった。

岡山地方気象台露場の年蒸発量と竜の口山の増加量と

の間にも、処理期間の全年を通じて同様な傾向がみられた。北谷の放置期について Fig. 40 に示した（相関係数 -0.686 ）。

その他の流域あるいは処理分期でもわずかながら同様な関係がみられた。

釜淵で、皆伐年・下刈期・火入期についてみれば、年平均気温・年平均最高気温が高いとき増加量が小さい傾向（それぞれ相関係数 -0.538 , -0.427 ）がほほうかわれる（Fig. 41）。しかし、他の時期あるいは他の流域では、簡単な関係は認められなかった。

蒸発・気温と増加量の関係は全般的に簡単な関係は認められなかったが、少なくとも年降水量と増加量との関係と矛盾するような結果はこの資料の範囲では認められなかった。

上川・Wagon Wheel Gap では簡単な関係が認められなかったのは、年降水量の場合と同じ理由によるものと考えられる。

以上のほか、前年降水量との関係も検討したが、いずれの流域でも簡単な関係は認められなかった。また Table 1 により、流域の平均傾斜と最大増加量の関係も調べたが、急傾斜流域ほど最大増加量が大きくなる傾向がわずかにうかがえ、こんど検討の価値あるものと考えられた。

なお年流出率についても、概略、以上に準じた検討を行なったが、結果はほぼ同様なものであった。

VI-2-2. 豊水・平水・低水・渴水各流出量

(a) 豊水流出量

年流出量の場合と同様、年降水量と変化量の間に関係がみられた。すなわち、釜淵では処理期間全体にわたって、また皆伐年・下刈期・火入期の内でそれぞれ年降水量が大きくなるとともに直線的に増加量が大きくなる傾向がかなり明らかに認められた。竜の口山でも全期間にわたって大体同様な関係が認められたが、さらに地表ないし植被状態がほぼ類似した処理分期間でみるとかなり明りょうな関係が認められた。

気温・蒸発量についても年流出量の場合とほぼ同じ傾向であった。

そして、上川・Wagon Wheel Gap ではほとんど関係が認められなかった。

要するに、植被ないし地表状態が同様であれば、増加量は年降水量の多い年に大きいことなどが、年流出量の場合と同様に認められた。このことは、年流出量中に占める豊水流出量の割合が、きわめて大きい

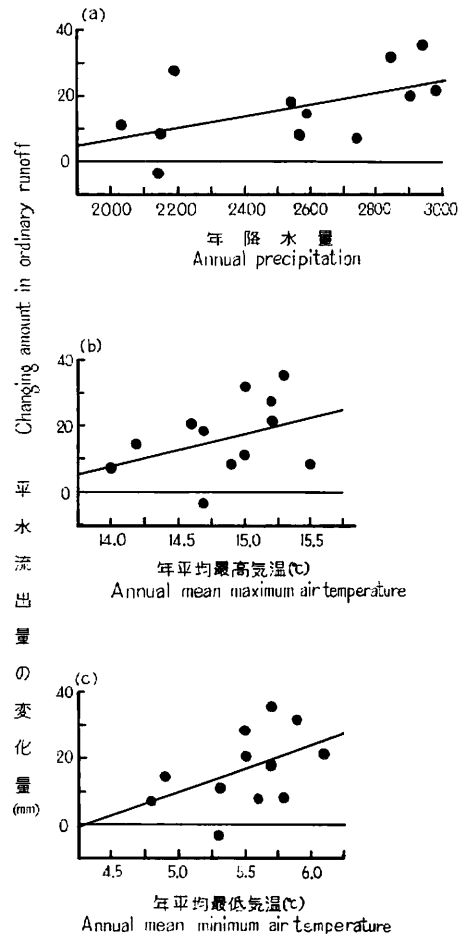


Fig. 42 釜淵—2号沢における平水流出量の変化量と年降水量・年平均最高気温・年平均最低気温の関係
Relations between annual precipitation, annual mean maximum and minimum air temperature and changing amount in ordinary runoff respectively, on K.-2.

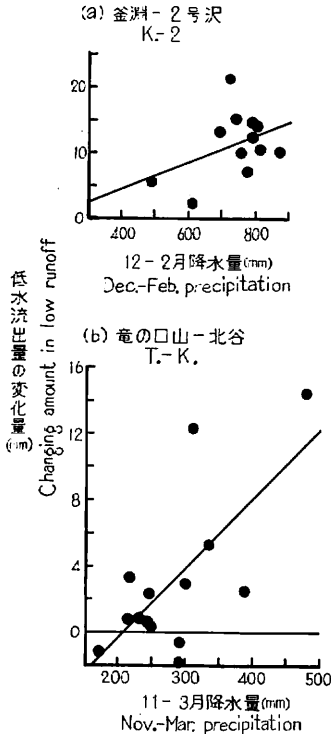
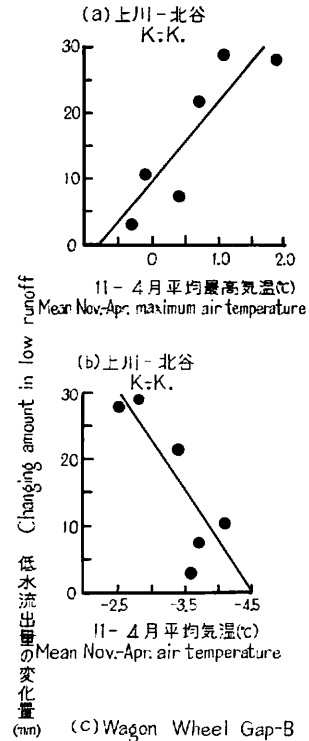
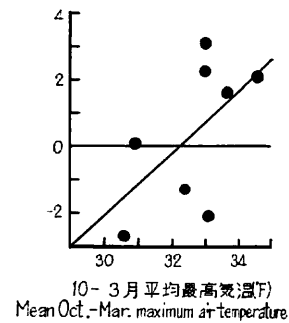


Fig. 43 低水流出量の変化量と冬期降水量の関係
Relation between winter season precipitation and changing amount in low runoff.

Fig. 44 低水流出量の変化量と冬期気温の関係
Relation between air temperature in winter season and changing amount in low runoff.



(c) Wagon Wheel Gap-B



ことから当然のことであろう。

(b) 平水流出量

各流域別に資料の得られた範囲で、年降水量・年平均気温・年平均最高気温・年平均最低気温・年平均日蒸発量、その他特定期間の降水量・気温などとの関係を調べた。

釜淵では処理期間全年についてみると、年降水量・年平均最高ならびに最低気温が大きい、あるいは高くなると増加量が大きくなる傾向（それぞれ相関係数0.550, 0.377, 0.477）が認められた。下刈期・火入期についてのこれらの関係を Fig. 42 に示した。階段工期についてもほぼ同様な傾向がうかがわれた。

竜の口山でも年降水量が大きいとき増加量が大きい傾向がほぼ認められた。また、年平均気温・年平均最高気温が低いとき、また年蒸発量が少ないとき増加量が大きいことがほぼ対応するようにみられた。

しかし、釜淵・竜の口山で植被状態が類似する期間について、各気象因子と増加量の関係が必ずしも簡単でない原因の1つは、平水流出量の性格そのものにもあろう。

上川・Wagon Wheel Gap では、いずれの因子とも単純な関係は認められなかった。

要するに、ここで得られた資料の範囲では、当然のことながら、平水流出量の変化と気象条件がまったく無関係ではないことだけは言えよう。

（c） 低水流出量

いま得られる限りの資料、すなわち低水流出量の主たる分布期間（Fig. 11）から判断して、関連する期間の降水量・平均気温・最高気温・最低気温・蒸発量など多数の気象統計値を取り出し、変化量との関係を調べた。

釜淵の皆伐年・下刈期・火入期では12～2月降水量と増加量との間に正の相関（係数 0.403）が認められた（Fig. 43, (a)）。また図示は省略するが、6～11月降水量との間にも同様な傾向がほほうかわれた。階段工期では単純な関係が認められなかった。処理の影響の方がより大きかったためと考えられる。

竜の口山でも放置期についてみれば、冬期間（11～3月）、夏期間（4～10月）の降水量が多いとき増加量も大きく（相関係数 0.689）、そしてある限度の降水量以下では減少となる傾向がみられた（Fig. 43 (b)）。

上川・Wagon Wheel Gap では降水量については単純な関係は認められなかった。

上川では、前述のとおり、植被の経年変化が大きいかかわらず、冬期（11～4月）の平均最高気温が高いほど増加量が多い（相関係数 0.889, Fig. 44 (a)）という関係がみとめられる。これは低水流出量の発生が主として11～4月の積雪期・融雪期にあることに関係すると思われる。また矛盾するようであるが、同期間の平均気温が低いほど増加量が多い傾向（相関係数 -0.837）もみられる（Fig. 44, (b)）。このようになる理由については、ここで十分明らかに説明できない。ともかく、この流域では低水流出量の発生時期が積雪期であり、また処理期間の多くの年で地被は積雪下にあるため、その変化は関係があまりなくなり、積雪面上の融雪条件である気象因子が関係してくるのは当然であろう。

Wagon Wheel Gap でも冬期（10～3月）の平均最高気温がある限度以上では増加となり、気温が高

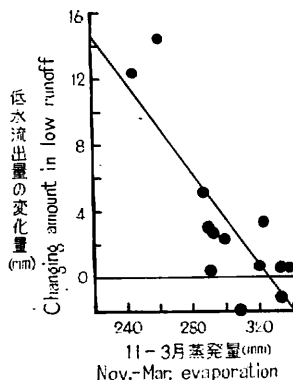


Fig. 45 竜の口山—北谷 における 低水流出量の変化量と冬期蒸発量の関係
Relation between winter season evaporation and changing amount in low runoff on T.-K.

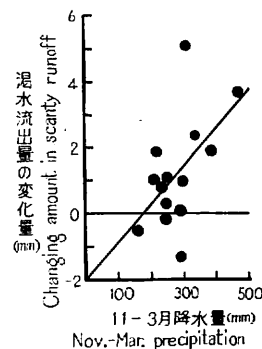


Fig. 46 竜の口山—北谷 における 渇水流出量の変化量と冬期降水量の関係
Relation between winter season precipitation and changing amount in scanty runoff on T.-K.

いほど増加量が大きく、ある限度以下では減少となり、気温が低いほど減少量が大きくなる傾向（相関係数0.569）が推量される。（Fig. 44, (c)）。この流域でも低水流出量の分布がほとんど積雪期（11～3月）に限られている（Fig. 11）から、処理期間の多くの年で植被は積雪下にあり、その変化よりも積雪面上の気象条件の方が関係が強いこととなる。釜淵でも冬期の気温との間に同様の傾向があるが、低水流出量中に占める冬期流出分が夏期流出分より少ないため上川・Wagon Wheel Gap ほど顕著でなくなっている。

釜淵ではこの流出量の主たる出現期間の夏期（5～10月）の最高気温・平均気温との間に負の相関関係が、また竜の口山でも類似の傾向がわずかながらうかがえた。

蒸発量については竜の口山の両谷でその皆伐年、放置期について11～3月蒸発量・年蒸発量が多いほど増加量が小さく、ある限界以下の蒸発量では減少になることがうかがわれる（北谷の11～3月蒸発量の場合の相関係数-0.816, Fig. 45）が、上川・Wagon Wheel Gap では簡単な 関係は認められなかった。釜淵については資料がないため検討できなかった。

要するに、次のことがいえよう。皆伐による低水流出量の増加量は、植被状態が同様であれば、その分布期間の降水量が多いとき大きくなる傾向があるようである。積雪のある流域で、積雪期と融雪初期にこ

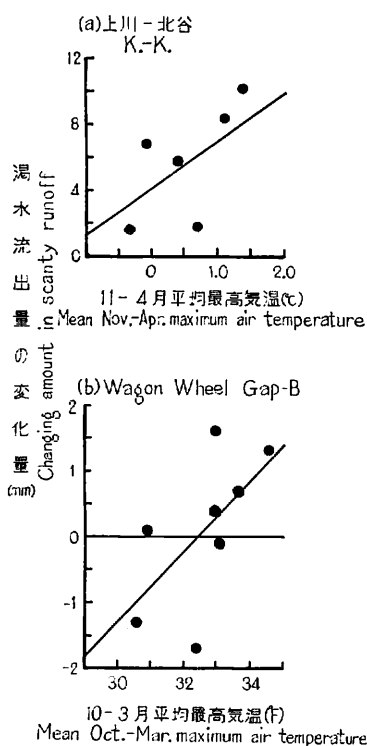


Fig. 47 濁水流出量の変化量と冬期平均最高気温の関係
Relation between mean winter season maximum air temperature and changing amount in scanty runoff.

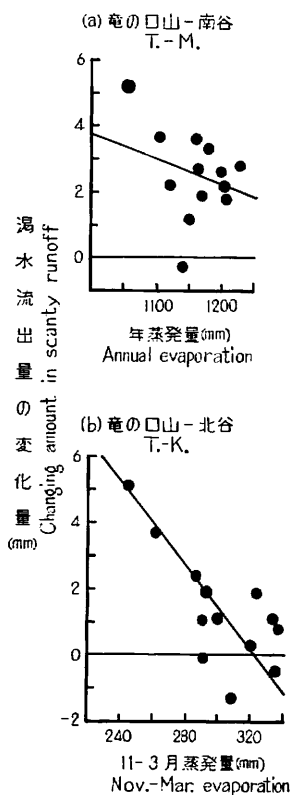


Fig. 48 濁水流出量の変化量と蒸発量の関係
Relation between evaporation and changing amount in scanty runoff.

の流出量の大部分が分布するところでは、この時期の平均最高気温が高いほど増加量が大きくなる傾向がある。積雪のない流域や積雪流域でも、この流出量が夏期にも分布するところでは、年あるいはこの流出量の主要分布期間の蒸発が少ないとき、気温が低いとき増加量が大きくなる傾向がある。

（d） 湧水流出量

Fig. 12 によりこの流出量の年間分布を考え、関連期間の降水量・平均気温・最高気温・最低気温・蒸発量など考えられる限り、また得られる限りの気象資料との関係を検討した。

竜の口山—北谷の皆伐年・放置期でみると、Fig. 46 に示されているように、この流出量のほぼ半ばが分布する冬期の降水量とかなりの正の相関関係（係数 0.545）が認められる。南谷についても、皆伐年・皆伐後放置期・下刈植栽期でみるとほぼ同様な傾向がうかがわれた。Wagon Wheel Gap でも、この流出量のほぼ半ばが分布する、盛夏期の降水量が多いとき増加量が大きくなる（一部の年の減少量が小さくなる）傾向がわずかながらうかがわれた。しかるに上川では、冬期の降水量が大きいとき増加量が小さくなる傾向が、植生変化が大きいと考えられるにもかかわらずかなり明らかに認められたが、この流域では湧水流出量の分布が1～4月（ほとんどは2～3月）に限られているところから、このことは後述べる気温と増加量との関係の裏返しの関係にすぎないようにも考えられる。Wagon Wheel Gap でもほぼ半ばの湧水流出量は積雪期に分布し、冬期降水量との関係でみると上川と同様な傾向がわずかながらうかがわれた。釜淵では必ずしも明りような関係は認められなかった。

上川では冬期（11～4月）の平均最高気温が高いほど増加量が大きい傾向（相関係数 0.674, Fig. 47, (a)）が、植生変化が大きいにもかかわらず認められる。この理由は低水流出量の場合と同様に考えられよう。同様に Wagon Wheel Gap でも、植生変化が大きいにもかかわらず、冬期（10～3月）の平均最高気温が高いほど増加量が大きく、ある限度の気温以下では減少となり、気温が低いほど減少量が大きくなる傾向（相関係数 0.615）が認められる（Fig. 47, (b)）。

竜の口山で皆伐年・放置期・下刈植栽期についてみると、冬期（11～3月）の蒸発量あるいは年蒸発量の少ないほど増加量が大きいことがみられる（北

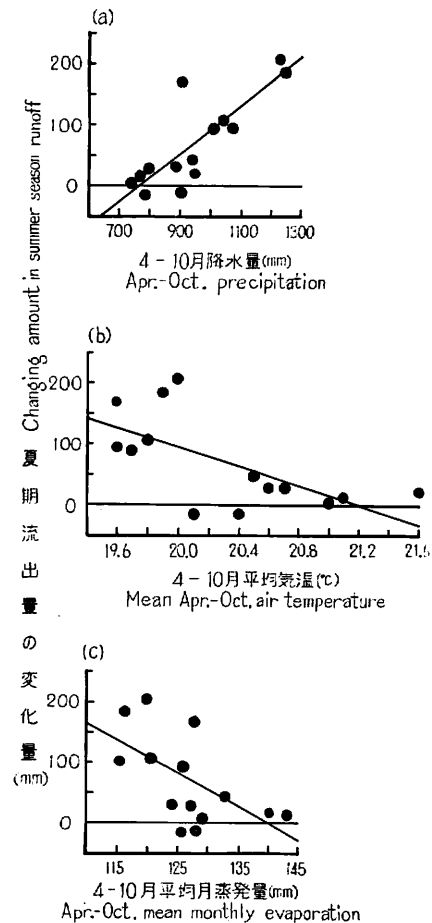


Fig. 49 竜の口山—北谷における 夏期 流出量の変化量と夏期の降水量・平均気温・平均月蒸発量の関係

Relations between total precipitation, mean air temperature and mean monthly evaporation for summer season and changing amount in summer season runoff respectively, on T.-K.

谷で前者の場合相関係数 -0.724 , 南谷で後者の場合 -0.291 , Fig. 48)。

釜淵では明らかな関係が必ずしも認められなかったが、以上からいおう次のことが言えよう。湧水流
出量の分布期間の降水量が多く蒸発量が少ないときその増加量は大きくなる傾向がある。ただし上川
のように、その分布期間が積雪期に限定されるような場合にはこのようにはならず、この時期の平均最高気温
が高いほど増加量が大きくなり、このことはこの時期の降水量が少ないほど増加量が大きいという見かけ
上の結果となるようである。

VI-2-3. 季節流出量

(a) 夏期流出量

夏期間の総降水量・平均気温・平均最高気温・平均月蒸発量など、得られた資料によって気象条件との
対応関係を調べた。

竜の口山—北谷で放置期では夏期降水量が大きくなるにつれて変化量は減少から増加となり、とくに増

加量は降水量とともに大きくなる関係(相関係数 0.816)が
認められる (Fig. 49 (a))。南谷の皆伐年・放置期・下刈
植栽期についても類似の関係(相関係数 0.671)が認められ
た。また宝川でも、放置期についてみれば多少類似の関係が
うかがわれた。

しかしながら、上川・Wagon Wheel Gap・釜淵では簡
単な関係は認められなかった。前2流域ではともに植被の変
化が著しく、その影響の方が強く現われているためと考えら
れるが、釜淵についてはほぼ同様な植被状態の分期内につい
ても簡単な関係がみられず、さらに細かい気象条件の変動な
どによる影響と考えられるが、ここでは十分に明らかにでき
ない。

竜の口山—北谷の皆伐年、放置期では夏期間の平均気温が
低いとき、また平均月蒸発量が少ないとき増加量が大きく、
その逆では小さく、かつ平均気温・平均月蒸発量がある限度
以上に高いか、あるいは大きくなると流出量は減少するよう
になる傾向(相関係数は前者で -0.652 , 後者で -0.585)が
ほぼ認められる (Fig. 49, (b)・(c)) (ただし (b) では
平均気温の資料を3か年については得られず点数が3点少な
い)。南谷でも、皆伐年・放置期・下刈植栽期についてみれ
ば、まったく同様な傾向が認められた。

上川でも植被の大きな変化にもかかわらず、夏期平均日蒸
発量・夏期平均最高気温が少ないか、低いとき増加量が大き
くなる傾向が多少うかがわれた。また宝川でも、夏期平均最
高気温との関係については上川と同様な傾向がうかがえ、
Wagon Wheel Gap でも夏期平均月蒸発量との関係につい

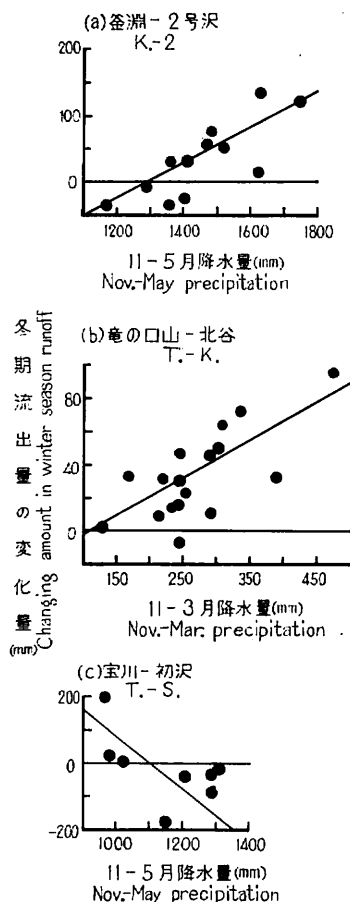


Fig. 50 冬期流出量の変化量と冬期降水量の関係
Relation between winter season precipitation and changing amount in winter season runoff.

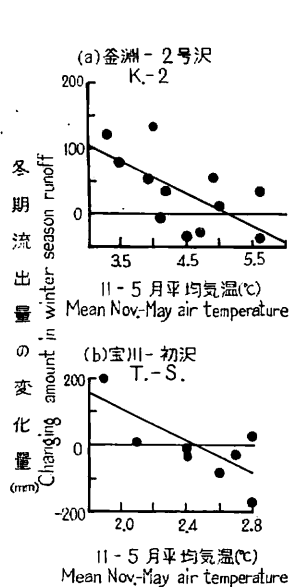


Fig. 51 冬期流出量の変化量と冬期平均気温の関係
Relation between mean winter season air temperature and changing amount in winter season runoff.

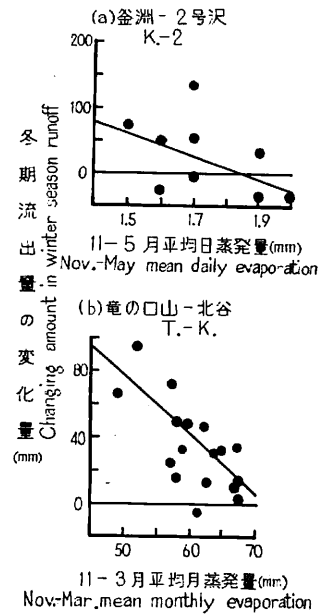


Fig. 52 冬期流出量の変化量と冬期蒸発量の関係
Relation between winter season evaporation and changing amount in winter season runoff.

ては上川と同様な傾向がうかがえた。しかし、釜淵について得られた資料の範囲では簡単な関係を指摘できる気象因子がなかった。

以上から、夏期流出量の変化量は、植被状態が同様であれば、夏期の降水量が多いほど増加量が大きく、したがって気温が低く、蒸発量が少ないほど大きくなる。そして、竜の口山のように少雨地帯で流域の湿润抵抗の大小が確然とする場合は、これらの関係が比較的明りょうであるが、多雨湿润地帯では複雑で個々の気象因子については不明りょうになるように考えられる。

(b) 冬期流出量

得られる限りの気象資料、すなわち冬期間の総降水量・平均気温・平均月または日蒸発量・平均最高気温などと変化量との関係を調べた。

釜淵で皆伐年・下刈期・火入期についてみると、Fig. 50, (a) に示すように変化量と冬期降水量の間には正の相関関係（相関係数0.793）が認められる。階段工期でも同様な関係がほぼ認められた。同様なことは竜の口山—北谷の皆伐年・放置期で認められ（Fig. 50, (b), 相関係数0.693）、また南谷の皆伐年・放置期・下刈植栽期でもほぼ認められた（相関係数0.546）。

ここで重要なことは、釜淵の皆伐年・下刈期で年によって減少しているのは、やはり降水量の関係で起こるのではないかとみられることである。たしかに、夏期流出量に比べて増加量は全般に少ないが、釜淵でも冬期流出量は増加する。ただしある限度以下の降水量の下では、減少することがありうるというのが実態ではないかと考えられる。そして、降水量の少ない年に減少が起こるのは融雪末期の蒸発散増加による土湿不足の増大のためと考えられるが断定はできない。

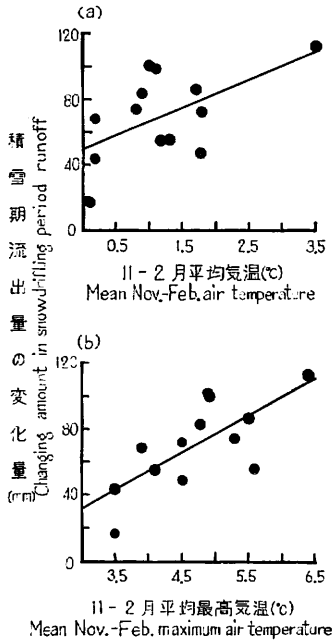


Fig. 53 釜淵一2号沢における積雪期流出量の変化量と積雪期の気温の関係
Relation between air temperature in snowdrifting period and changing amount in snowdrifting period runoff on K.-2.

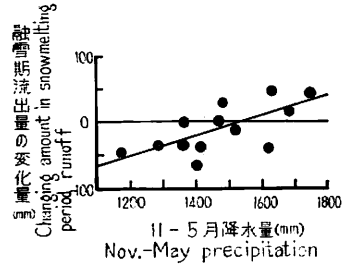


Fig. 54 釜淵一2号沢における融雪期流出量の変化量と冬期降水量の関係
Relation between winter season precipitation and changing amount in snowmelting period runoff on K.-2.

宝川では、冬期降水量がある限度以上に多い年に減少となっている (Fig. 50, (c))。冬期降水量が非常に多いときは機械的にくぎった冬期間の末期である5月末日以降に積雪、したがって融雪が繰り越されるためと考えられる。上川・Wagon Wheel Gap では明確ではなかった。

釜淵で皆伐年・下刈期・火入期についてみると、冬期平均気温が高いほど増加量が小さく、ある限度以上の気温では減少となる傾向がほぼ認められた (相関係数-0.614)。宝川でも処理全年について同様な傾向 (相関係数-0.738) がほぼ認められる (Fig. 51)。

しかし竜の口山・上川・Wagon Wheel Gap では、簡単な関係は認められなかった。

竜の口山一北谷の皆伐年・放置期についてみると、明らかに冬期間の平均月蒸発量が少ない年ほど増加量が多い傾向 (相関係数-0.773) が認められる (Fig. 52, (b))。南谷の皆伐年・放置期・下刈植栽期についてもまったく同様であった。

釜淵の皆伐年・下刈期・火入期についても冬期の平均日蒸発量が多い年ほど増加量が少なく、ある限度以上では減少になる傾向 (相関係数-0.492) がうかがわれる (Fig. 52, (a))。

上川・Wagon Wheel Gap では簡単な関係は認められなかった。宝川では蒸発量の測定値がなく検討できなかった。

以上から次のことがいおういよう。

伐採後、植被状態が同じならば、冬期流出量の増加量は冬期降水量が多いほど大きくなり、降水量がある限度以下では、変化は減少になる可能性がある。このことは冬期の蒸発量が少ないほど、増加量は大きくなり、ある限度以上の蒸発量では減少となることと符合する。さらに冬期の平均気温が高いほど増加量は小さくなり、ある限度以上では変化が減少方向となることと対応することとなる。

(c) 積雪期流出量

得られた気象資料、すなわち積雪期の降水量・平均気温・平均最高気温・平均月または日蒸発量、その

他一部流域については、先行降水量などと変化量との関係を調べた。

降水は積雪として蓄積されていく時期であり、したがって、流出に直接関係することは考えられない。しかし、先行降水量については事情が異なる。すなわち、先行降水量の一部はリチャージされて流域土壌の保有水分となり、その後中間・地下水両流出となるはずである。積雪期間の流出の一部はこれらの流出分であると考えられるから、先行降水量の多少ひいては流域保留水分の多少は、直接この流出量の多少に関係してくるはずである。このことは釜淵の下刈期・火入期の増加量は先行降水量が大きい年に大きいことではばうかがわれた。

しかし、上川・宝川・Wagon Wheel Gap では処理期間の初期には積雪面上に林木が残っており、融雪による流出分がこれによって左右されるため、釜淵のように先行降水との関係が認められなかったのはむしろ当然であろう。

積雪期の流出の、他の一部は融雪水による表面流出と考えられる。したがって、融雪におよぼす気象条件が関係することは当然考えられる。釜淵で積雪期の平均気温・平均最高気温が高いほど増加量が多いこと（それぞれ相関係数0.570, 0.723）は、Fig. 53 で明らかである。宝川の択伐後放置期、上川・Wagon Wheel Gap でも積雪期平均最高気温については同様な傾向がほぼ認められた。

以上からつぎのことが言えよう。資料の範囲では積雪期流出量の増加量はその期の平均最高気温が高いほど大きく、先行降水量が多いほど大きくなる傾向がある。

（d） 融雪期流出量

融雪・蒸発に關係する気象因子あるいは融雪期当初の積雪量の多少、あるいは流域地層に保留される水分量などが関係するものと考えられ、冬期降水量・融雪期の平均気温や平均最高気温などと変化量との関係について調べた。

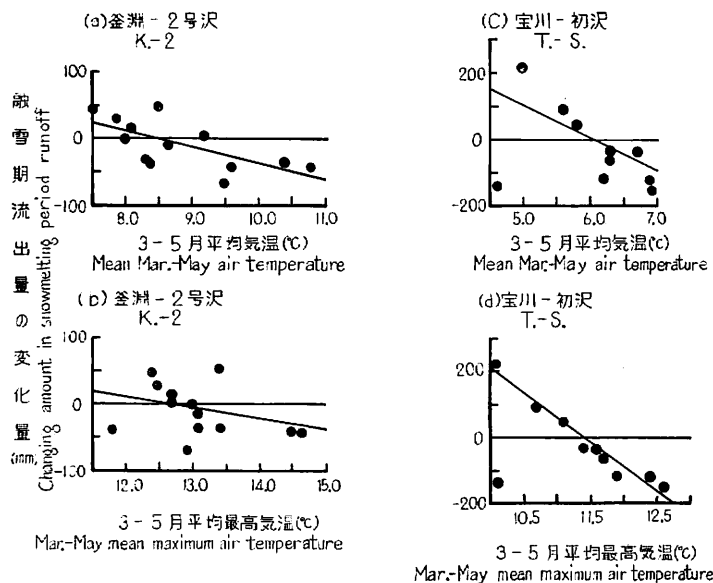


Fig. 55 融雪期流出量の変化量と融雪期気温の関係
Relation between air temperature in snowmelting period and changing amount in snowmelting period runoff.

融雪期当初の積雪量の多いほど増加量が大ききことは、釜淵の皆伐年・下刈期・火入期についても、また階段工期についても冬期降水量が多いとき増加量が大きく、降水量のある限度以下ではかえって減少となる傾向（相関係数0.645）がみられることから認められる（Fig. 54）。

しかし、上川・宝川・Wagon Wheel Gap では、主として植被変動が大きいためと考えられるが、釜淵のように明りようではない。

釜淵で融雪期の平均気温・平均最高気温が低いとき増加量が大きく、これらのある限度以上では減少となること（それぞれ相関係数 -0.644 、 -0.329 ）が皆伐年・下刈期・火入期ではほぼ認められる（Fig. 55, (a)・(b)）。宝川でも融雪期の平均気温・平均最高気温との間に釜淵と同様なこと（それぞれ相関係数 -0.494 、 -0.975 ）が認められる（Fig. 55, (c)・(d)）。ただし、Fig. 55, (d) でとくに離れている1点は、処理後第1年の値である。

上川・Wagon Wheel Gap では釜淵・宝川のような明りような関係は認められなかった。

以上から融雪期流出量の変化は、植被状態がほぼ同様なとき、積雪量の多少・融雪期の平均気温や平均最高気温でかなり左右されることが考えられる。

VI-2-4. 月流出量

月流出量の変化が降水など気象条件に支配されるであろうことは、年流出量・季節流出量などが影響することから明らかに推定される。しかしながら、個々の月の流出量に対する降水量初め蒸発散に関係する各種気象条件の影響がきわめて複雑であろうことも想像に難くない。したがって、一部についてその検討を行ない、前各項の説明の妥当性の確認を行なうにとどめた。

VI-2-5. 増水量および増水ピーク流量

(a) 増水量

増水量の大小には、原因となる降雨と出水直前の流域の乾湿状態、いいかえれば先行気象条件がとくに密接に関係することは認められていた。筆者もすでに指摘したことがある⁷⁴⁾。したがって、森林伐採による増水量の変化にも関連一連続雨量と流域の初期乾湿条件が強く影響することは十分推定できる。

ここでは資料として得られた一連続雨量と出水開始時の水位（初期水位と呼ぶこととする）との関係を調べた。

初期水位は流域の湿潤状態の指標と考えられ、この水位が高いことは主として流域の地層中の保有水分が多い。したがってこの意味で流域が湿っていることを示すものと推量される。なお、初期水位の代わりに初期流量を用いても、もしあるとすれば、増水量あるいはその変化量との関係は水位のそれとほとんど同様と考えられる。

(i) 釜淵-2号沢

変化量と一連続雨量の関係を Fig. 56 に示した。Fig. 56 から以下述べるのがいえる。

まず、一連続雨量が15mm弱以下では、わずかな出水があっても水位日記紙上で明確に区分できるものはほとんどなかったこと、いいかえればきわめて微弱な増水でしかなかったことがわかる。

つぎに、全体を一括してみるときは、増加・減少の両方があること、全体として一連続雨量が大きくなるにつれて増加量は大きくなり、減少量はある限度雨量までは大きくなるが、その後は小さくなり、この限界雨量より大きい雨量の範囲では、増加・減少をあわせて変化量と一連続雨量とはほぼ直線的関係があることが認められる⁷⁴⁾。

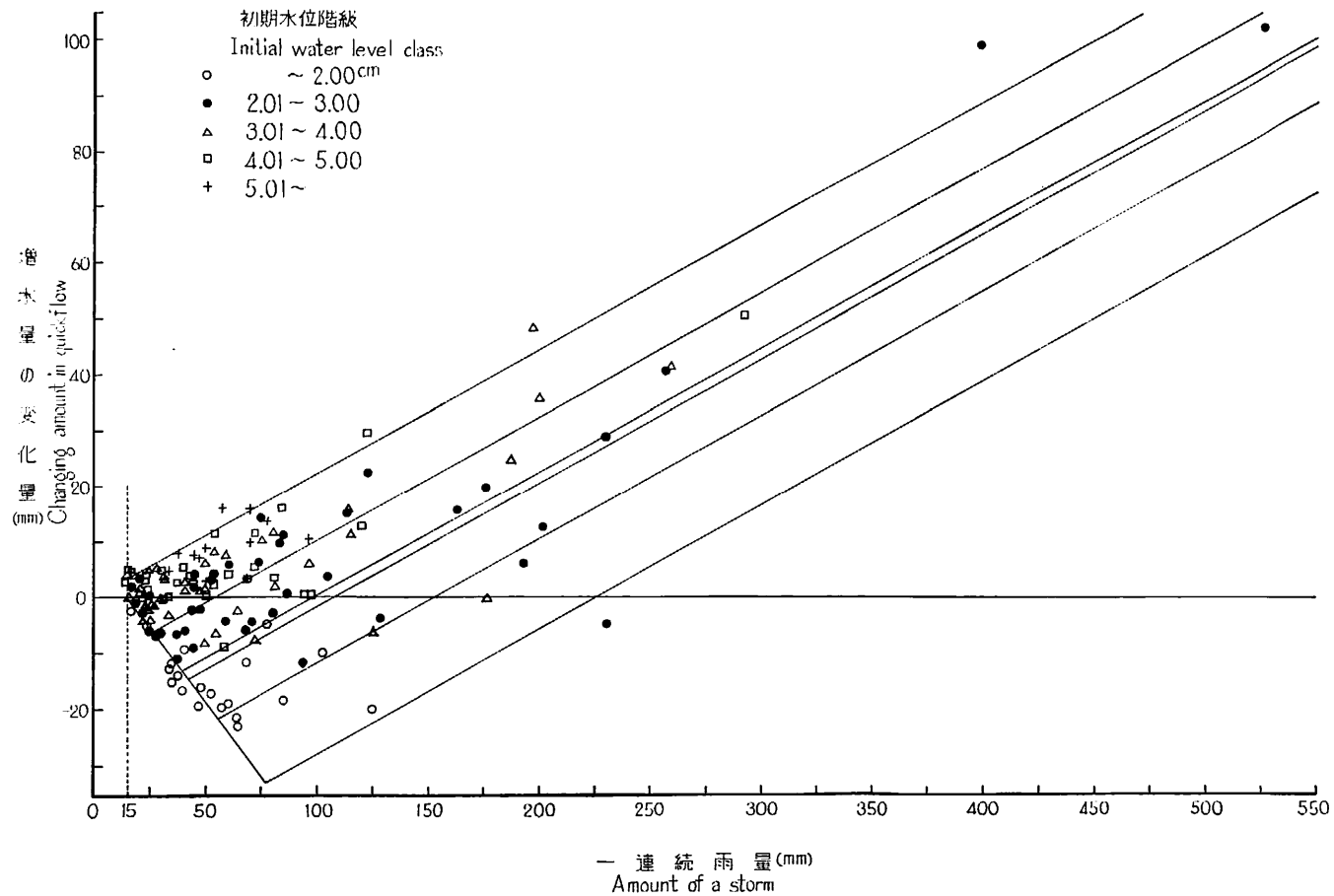


Fig. 56 釜淵一2号沢における増水量の変化量と初期水位・一連続雨量の関係
Relation among initial water level, amount of a storm and changing amount in quickflow on K.-2.

いま便宜的ではあるが、初期水位 (cm) を 2.00 以下, 2.01~3.00, 3.01~4.00, 4.01~5.00, 5.01 以上の 5 階級に分けると, Fig. 56 に示すように点の分布が異なっていることが明らかに認められる。

そこで初期水位階級別に両者の関係を調べる。

5.01 以上ではすべて増加で、全点について雨量が大きいき、増加量も大きくなる直線関係がほぼ認められる。

これに対して 2.00 以下ではすべて減少で、雨量が小さい部分では雨量が大きくなるにつれて減少量が大きくなり、ある限界雨量以降は小さくなる傾向がはっきりと認められる。

中間の階級では明らかに前 2 者の中間的傾向があり、点の一部分は 5.01 階級のように増加で、雨量とともにほぼ直線的にその量が大きくなるが、他の一部分は 2.00 階級のように雨量の小さいところではある限界雨量 (説明の便宜上第 1 限界雨量と呼ぶ) まで雨量とともに減少量が大きくなり、この限界雨量以降は雨量が大きくなるにつれて小さくなり、やがて次のある限界雨量 (第 2 限界雨量と呼ぶ) で増加となり、前者と同様雨量とともに増加量も大きくなる直線的傾向がある。

2.00 以下階級でもたまたま大きい雨量の場合が無かっただけで、もしあればやはり同じ傾向を示すものと推定される。

以上のような定性的事実は明らかで、これから初期水位階級別に一連続雨量と変化量の関係を定量的に示すことは意義がある。しかしながら、ここで便宜的に区分した初期水位階級内の各点の分散は激しい。このことは変化量が初期水位と一連続雨量の総量だけできまるものではないこと、初期水位階級にしても、便宜的に機械的に区分したに過ぎず、さらに解析精度も必ずしも高くないので、誤差が大きいことなどから当然であろう。

そこで、各初期水位階級ごとに変化量と雨量の関係を、平均的に求めることは困難であるが、ある範囲の形あるいはある限界の形で考えることはできよう。つぎにこれを述べる。

まず第 1 限界雨量以下の雨量の場合の減少量と、一連続雨量との関係については、各雨量ごとの減少量の最大限度については各初期水位階級に共通な関係がほぼ示せそうである。すなわち、点群のほぼ縁に沿って直線が引ける。この直線はほぼ次式で表わされる。

$$-dr = 0.5330 p - 8.00 \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

ただし、 $-dr$ は増水量の減少量の最大限度 (mm)、 p は一連続雨量 (mm) であり、この式の適用できる一連続雨量の下限は約 15mm である。実際にも 15mm 以下で、しかも減少が起こるような流域の乾燥状態のときは、出水がほとんど起こらなかった。したがって、この式を 15mm 以下の場合に適用すると、無降雨で増水量の増加が起こることになるという矛盾を問題にする必要はない。そして、一連続雨量の上限 (第 1 限界雨量) は後述するように、初期水位階級で異なり、前記の階級順に 75, 55, 45, 40, 25mm である。

つぎに、第 1 限界雨量以上の雨量の場合の変化量と雨量の関係は、前述のように各階級にほぼ共通な勾配で雨量が大きくなるにつれて、減少部ではその量が小さくなり、増加部ではその量が大きくなり、その関係はほぼ直線的とみなせる。そこで、第 1 限界雨量以上の雨量と変化量との関係を各水位階級ごとに試算し、点の分布状態をも考慮に入れて平均的にみると、ほぼ次式で示せよう。

$$dr = 0.2231 p - c \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

ただし、この dr は増水量の変化量 (mm)、 p は一連続雨量 (mm) で、定数 c は水位階級によ

で当然異なる。

各水位階級の点群ごとにその下縁に沿って、この直線を引く。ただし、一部にかけ離れた点があるが、これは機械的に水位階級を区分したためなどによって生じたものと考えられ、大体において階級境界付近に属する水位の場合の値であるので、これを適宜下位水位階級に属せしめることを行なった。このような点は2.01～3.00階級で2点、3.01～4.00階級で2点ある。かくして、前記水位階級順に c はほぼ50, 34, 24, 22, 12mm となった（元来厳密な議論は無意味であるので、丸めた値とした）。これらの式で表わせる直線を Fig. 56 中に示した。

なお2.00cm以下階級では試験の範囲でたまたま130mm以上の一連続雨量の場合がなかっただけで、もしあれば Fig. 56 にえがかれた直線を限界として点が分布するのではないかと推定した。

このようにすると、前述の減少量の最大限度線とこれらの各式で示された直線との交点の x 軸上の位置として第1限界雨量は水位階級ごとにきまり、おおよそ前述の値となる。ただし、実際にはこれより小さいものであるかもしれない。すなわち、実際には変化量と一連続雨量の関連は上述のような2本の直線の組み合わせでなく、ある種の曲線であるかもしれないからである。しかし、資料の精度の低いこと、後述

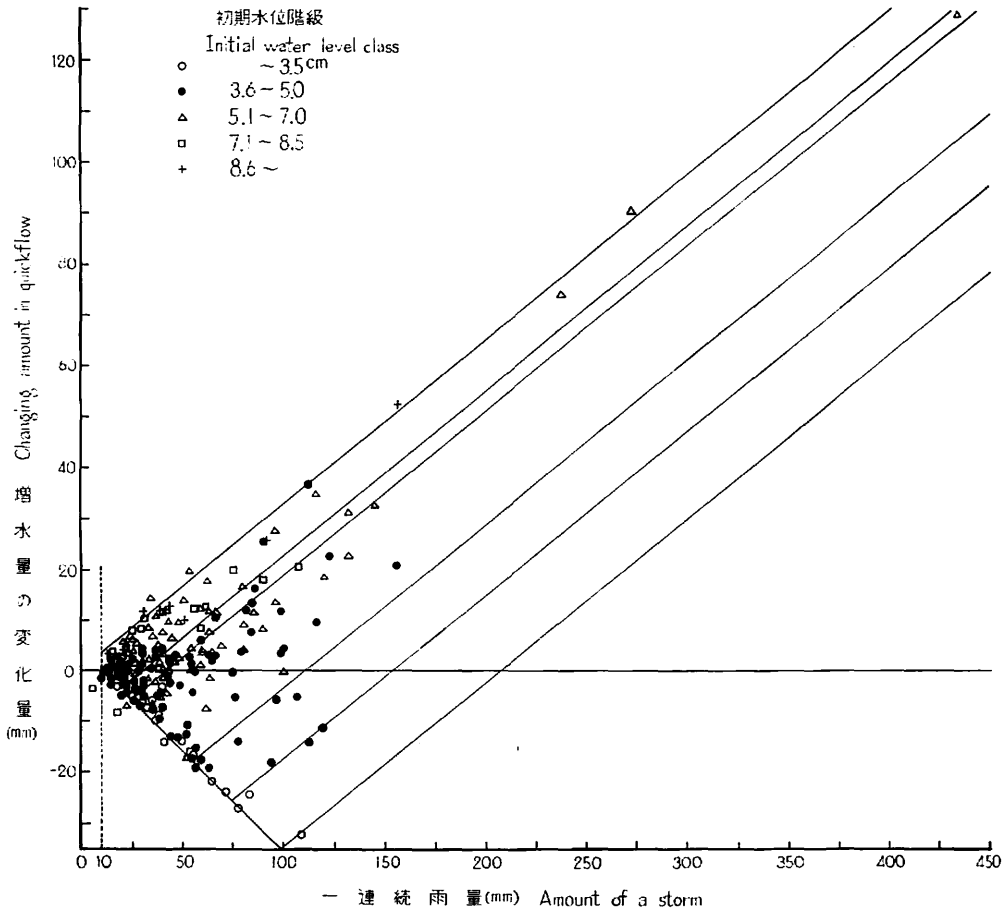


Fig. 57 竜の口山—北谷における増水量の変化量と初期水位・一連続雨量の関係
Relation among initial water level, amount of a storm and changing amount
in quickflow on T.-K.

の竜の口山—北谷の側をもあわせ考えると限界を直線の組み合わせで示した方がわかりやすいため、これを採用したにすぎない。

起こりうる最大減少量は前記各水位階級順にほぼ 32, 21, 16, 13, 5 mm となった。

以上から、この資料の範囲では各初期水位階級ごとに、各一連続雨量に対する減少量の最大限度と増加量の最小限度がいちおう示されることとなった。

つぎに上述の各式を認めると、第 2 限界雨量すなわち皆伐により増水量が増加する限界雨量が、前記初期水位階級順におおよそ 224, 150, 107, 98, 53 mm, となり、先に報告⁷⁴⁾したように、一概に 130 mm 以上の一連続雨量では増加になるとするよりも初期水位階級別に示した方が合理的であろう。

減少量の最大限度と増加量の最小限度は以上で示されるが、Fig. 56 をみると各水位階級とも増加量の上限については変動が大きく、必ずしも階級間に差がない。初期水位と一連続雨量が同じでも雨の降り方、とくに強度については種々であることが考えられ、当然のことであろう。

そこで、全水位階級に共通に増加の最大限度は、ほぼ次式で表わされるものとするほかならう。

$$\Delta r = 0.2231 p \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

この式では雨量 0 のとき増加量も 0 とし、全点群の上縁にできるだけ忠実な直線としたが、実際には一連続雨量 0～15 mm の間で出水が起こる限界雨量があるはずと考えられる。この限界雨量は減少の場合と異なることが考えられるが、実際にハイドログラフから増水資料をとる場合はこのような小出水については増水の始期・終期が不分明なことが多いため、完全にはデータがとれず明確にできないので、雨量 0 のとき増加も 0 とした。

(ii) 竜の口山—北谷

変化量と一連続雨量の関係を Fig. 57 に示した。

Fig. 57 を全体的にみると、前述の釜淵の場合とまったく同様な定性的事実が指摘できよう。

便宜的に初期水位 (cm) を 3.5 以下, 3.6～5.0, 5.1～7.0, 7.1～8.5, 8.6 以上の 5 階級に分け、釜淵の場合と同様な検討をした。

第 1 限界雨量以下の雨量の場合の減少量と一連続雨量との関係については、やはり各水位階級に共通な最大限度線を次の直線式で表わせよう。

$$-\Delta r = 0.3959 p - 4.00 \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

この式の適用できる一連続雨量の下限は約 10 mm である。実際に 10 mm 以下で、しかも減少が起こるような流域の乾燥状態のときは出水がほとんど起きていない。したがって、雨が降らないのに増加が起こるという矛盾は考える必要がない。そして、一連続雨量の上限 (第 1 限界雨量) は後述するように初期水位階級で異なり、前記の階級順におおよそ 100, 75, 55, 25, 20 mm である。

つぎに、第 1 限界雨量以上の雨量における変化量と雨量の関係はやはり各階級とも直線的としてよいと考えられ、各階級ごとに試算し、点の分布状態をも考慮して平均的にみるとほぼ次式で表わせよう。

$$\Delta r = 0.3247 p - c \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

釜淵の場合と同様にして、各水位階級順に c はほぼ 70, 50, 36, 14, 10 mm となった。これらの式で表わせる直線を Fig. 57 中に示した。なお 3.5 cm 以下階級では、たまたま実際に大雨量の場合がなかっただけで、もし第 1 限界雨量以上の大雨量が起これば、Fig. 57 に描かれた直線を限界として点が分布するのではないかと推定した。

以上2種類の直線の組み合わせから第1限界雨量がきまり、そして起こりうる減少量の最大値は前記水位階級順にほぼ35, 26, 18, 6, 4 mmとなった。

以上から、この資料の範囲では各初期水位階級ごとに各一連続雨量に対する減少量の最大限度と増加量の最少限度が示された。

つぎに、第2限界雨量が各水位階級順におおよそ 207, 154, 110, 43, 32mm となり、これら以上の一連続雨量になるといずれの水位階級でも増加することになる。釜淵の場合と同様にして増加の最大限度は、各水位階級に共通で次式で表わせよう。

$$\Delta r = 0.3247 \cdot p \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

以上から釜淵—2号沢・竜の口山—北谷に増水量の変化量と初期水位・一連続雨量の関係が定性的には同じであることが知られた。地況・気象条件が異なるので、前記各式の係数・定数ならびに限界値が両流域で異なるのは当然と考えられるが、極端に流域が乾燥したときの降雨による増水の減少量の最大予想限度・第1および第2限界雨量が極端に異ならないのは興味がある。

以上は各種の限界値を示したにとどまったが、将来さらに、多数の、しかもできるだけ精度の高い資料が得られるならば、さらに初期水位階級あるいは初期流量階級を細分し、しかもその階級ごとに一連続雨量と変化量の関係の一つの曲線で示すことができるものと考えられる。

(iii) 初期水位について

これは流域の湿潤抵抗を示す有力な尺度であるが、水位測定は一般には行なわれることが少ない。そこで以上述べたことを、こんど追加試験して実用的な参考とするためには、初期水位を比較的測定されることの多い気象因子でおきかえることが必要である。

初期水位は先行降雨のほか気温・風、その他とくに蒸発散に影響する多数気象因子と流域の地層状態など地況条件によってきまると考えられるが、もしいかなる流域でも先行降雨のあり方の共通的な表現法で、かなり高度に初期水位がおきかえうならば便利である。

LINSLEY⁴⁹⁾らの提案する既往降水指数 (A.P.I.) が先行降雨の表現法として使用されることがある。これを検討したが、この指数と初期水位の関係は単純ではないことがわかった。

そこで、先行10日間の日雨量を調べ、これらの組合せを各種試み、初期水位との関係を調べたところ、次のものが比較的まとまりのある関係を示すことがわかった。すなわち、先行10日間の日雨量を1, 2, 3, …, 10日までごとに10種類積算し、これ

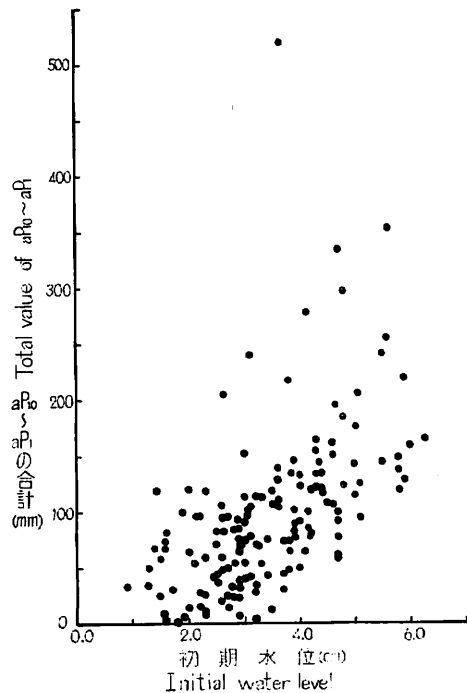


Fig. 58. 釜淵—2号沢における初期水位と先行降雨量の関係

Relation between antecedent precipitation and initial water level at the time stormflow began on K.-2.; aP_{10} : total precipitation for 10 day period preceding of stormflow, similarly, aP_9 : total precipitation for 9 days.

Table 37. 増水量の一連続雨量階級別の平均増加
Mean increasing amount in quickflow by classes of amount of a storm

一連続雨量 階級 Class of a storm mm	平均一連続 雨量 Mean amount of a storm mm	平均期待増 水量 Mean amount of predicted quickflow mm	平均増加量 Mean increasing amount mm	平均増加率 Mean increasing rate mm	増加率の最 大値 Maximum value of increasing rate %	平均増水流 出率 Mean quick- flow per- centage %	備 考 (資料数) Number of data
--	---	--	---	---	---	---	-----------------------------------

釜淵—2号沢 K.-2.

～ 15.0	14.0	0.94	3.49	392.0	550.0	6.7	4
15.1～ 20.0	17.2	3.20	2.67	158.2	476.0	18.6	9
20.1～ 30.0	23.3	7.42	2.91	42.5	65.8	31.9	13
30.1～ 40.0	35.2	15.78	3.99	25.0	46.4	44.8	8
40.1～ 50.0	45.6	23.01	4.76	20.4	36.1	50.5	10
50.1～ 60.0	54.1	28.91	6.80	23.0	52.1	53.4	8
60.1～ 70.0	65.4	36.79	6.67	17.9	40.6	56.3	5
70.1～ 80.0	74.6	43.24	10.44	24.1	33.1	58.0	8
80.1～100.0	89.0	53.31	5.78	7.8	32.7	59.9	9
100.1～120.0	115.5	71.79	13.19	18.4	22.5	62.2	4
120.1～160.0	122.3	76.52	26.19	34.3	38.9	62.6	2
160.1～200.0	183.2	118.99	22.87	19.0	37.6	65.0	5
200.1～300.0	240.4	158.93	34.99	21.6	27.3	66.1	6
300.1～400.0	398.2	269.07	98.95	36.8	36.8	67.6	1
400.1～	526.0	358.26	102.61	28.6	28.6	68.1	1

竜の口山—北谷 T.-K.

～ 15.0	14.0	0.47	1.99	673.9	1627.8	3.4	9
15.1～ 20.0	17.1	1.79	1.48	102.1	270.5	10.5	19
20.1～ 30.0	25.2	5.85	3.74	79.1	388.9	23.2	28
30.1～ 40.0	35.5	10.27	5.44	65.3	348.5	28.9	22
40.1～ 50.0	43.6	14.31	6.05	44.2	105.8	32.8	13
50.1～ 60.0	55.3	20.46	7.09	35.5	111.3	37.0	13
60.1～ 70.0	64.4	24.34	7.09	29.4	76.4	37.8	13
70.1～ 80.0	77.8	31.12	18.34	59.2	66.5	40.0	2
80.1～100.0	88.7	26.13	12.61	51.3	69.6	40.7	16
100.1～120.0	110.9	46.70	21.17	44.5	77.2	42.1	5
120.1～160.0	137.9	62.01	28.81	53.0	78.5	45.0	7
160.1～250.0	237.5	109.32	74.21	67.9	67.9	46.0	1
250.1～300.0	273.0	126.84	90.62	71.4	71.4	46.5	1
300.1～	433.0	199.55	128.83	64.6	64.6	46.1	1

らの積算値をさらに総計し、この総計雨量（一種の指数と考えられる）と初期水位との関係を求めた。これを示したのが Fig. 58 である。

Fig. 58 により、両者の関係はかなりまとまっており、直線的関係がうかがえる。しかしながら変動幅はかなり大きいので、ただちにこの指数で初期水位を置き換えることは不適當である。今後の検討にまっはかはない。

なお雨量以外に、気温その他一般的に観測されることの多い条件を加えることによって置き換えの可能性が生ずることも考えられるが、ここでは資料が十分でなく検討できなかった。これも今後の検討にまっはかはない。

さらに、直接、流域の表層土壌の保有水分を代表地点で測定し、これで流域の乾湿状態を直接的に示すこと、あるいは保有水分を推定する方式をたて、これで示すことも考えられるが、これらも今後の検討課題であろう。

Table 38. 増水量の一連続雨量階級別の平均減少
Mean decreasing amount in quickflow by classes of amount of a storm

一連続雨量 階級 Class of amount of storm mm	平均一連続 雨量 Mean amount of a storm mm	平均期待増 水量 Mean amount of predicted quickflow mm	平均減少量 Mean decreasing amount mm	平均減少率 Mean decreasing rate %	減少率の最 大値 Maximum decreasing rate %	平均増水流 出率 Mean quick- flow per- centage %	備 考 (資料数) Number of data
釜淵—2号沢 K.-2.							
～ 20.0	18.2	3.89	- 0.73	-42.7	-74.3	21.3	6
20.1～ 30.0	25.1	8.71	- 2.76	-33.5	-66.0	34.7	13
30.1～ 40.0	35.0	15.97	- 9.96	-61.5	-86.7	45.6	8
40.1～ 50.0	45.7	23.02	- 7.84	-35.0	-84.7	50.4	12
50.1～ 60.0	56.5	30.58	-10.89	-35.8	-59.7	54.1	5
60.1～ 70.0	65.9	37.17	-12.70	-35.0	-64.0	56.4	7
70.1～ 80.0	74.3	43.02	- 4.53	-10.6	-10.8	57.9	2
80.1～100.0	85.6	50.91	-10.49	-20.4	-35.7	59.5	4
100.1～120.0	104.3	63.92	- 6.75	-10.7	-15.4	61.3	2
120.1～160.0	126.2	79.21	- 9.73	-12.4	-25.0	62.8	3
160.1～200.0	176.0	113.99	- 0.21	- 0.2	- 0.2	64.8	1
200.1～	230.0	151.64	- 4.61	- 3.0	- 3.0	65.9	1
竜の口山—北谷 T.-K.							
～ 20.0	16.4	2.24	- 1.65	-70.3	-98.6	13.7	47
20.1～ 30.0	24.2	5.26	- 2.82	-55.0	-94.8	21.7	41
30.1～ 40.0	34.3	9.79	- 5.22	-54.0	-90.9	28.5	27
40.1～ 50.0	43.9	13.99	- 7.05	-51.1	-95.6	31.9	8
50.1～ 60.0	54.9	19.43	-12.75	-66.2	-92.2	35.4	13
60.1～ 70.0	63.6	23.54	-12.54	-53.7	-93.2	37.0	4
70.1～ 80.0	76.2	30.27	-17.50	-35.1	-90.7	39.7	4
80.1～100.0	92.3	36.04	-14.60	-42.3	-79.2	39.1	4
100.1～	109.9	45.95	-12.61	-27.8	-70.5	41.8	5

(iv) 一連続雨量階級と増水量の平均変化量

皆伐による増水量の変化量は流域の初期乾湿条件と一連続雨量によって強く支配されることが明らかになったが、流域の初期乾湿条件については実際の表現法が明確にできないので、ここではいちおう除外して、この検討の範囲で針広混交林もしくはアカマツの成林を皆伐し、低木と草から成る植被に転換することによる増水量の変化量を一連続雨量階級別に平均値でまとめておくことは変化量の目安を知る上に役だつてであろう。

Table 30 その他の資料により、初期水位をいちおう考えないで一連続雨量階級別に、増水量の変化その他をまとめると Table 37, Table 38 のようになる。

Table 37 によって平均一連続雨量 ($\bar{p}$) と平均増加量 ($d\bar{F}$) の関係を見ると、両流域ともほぼ直線的関係が認められ、当然前記本項の (i) および (ii) であげた水位階級に、共通な増加の最大限度の式に類似した次の式がそれぞれ得られる。

$$d\bar{F} = 0.2148 \bar{p} - 5.61 \quad (\text{釜淵—2号沢, Fig. 59 中の a 線})$$

$$d\bar{F} = 0.3252 \bar{p} - 8.38 \quad (\text{竜の口山—北谷, Fig. 59 中の b 線})$$

しかし、Fig. 59 を詳細にみると、2つの双曲線もしくは放物線状曲線の組み合わせられたS字状曲線ともみられる。概念的にはこの方が、ことに異常な大雨ではある漸近線に近づく曲線と考える方が意味があるようにも考えられるが、この不十分な資料では断定的なことはいえない。こんどの研究課題であろう。

つぎに、平均増加率 ($d\bar{F}$) との関係を見ると、双曲線状の曲線とみなせるようで、これによって実験式

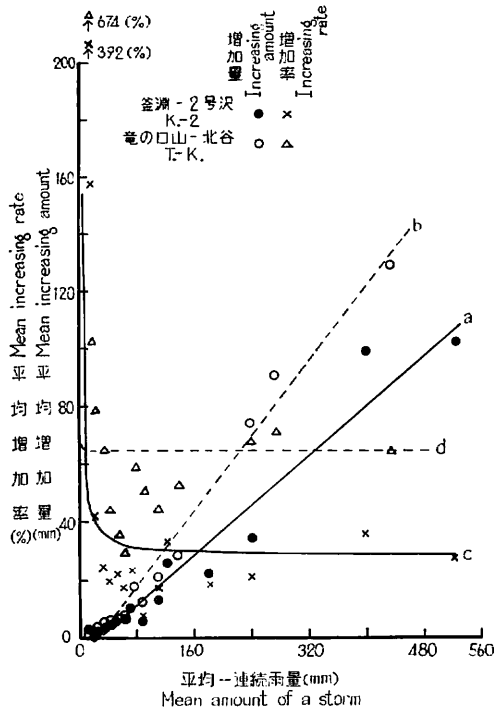


Fig. 59 平均一連続雨量と対応する増水量の平均増加量・平均増加率の関係
Relations between mean amount of a storm and mean increasing amount and mean increasing rate in correspondent quickflow respectively.

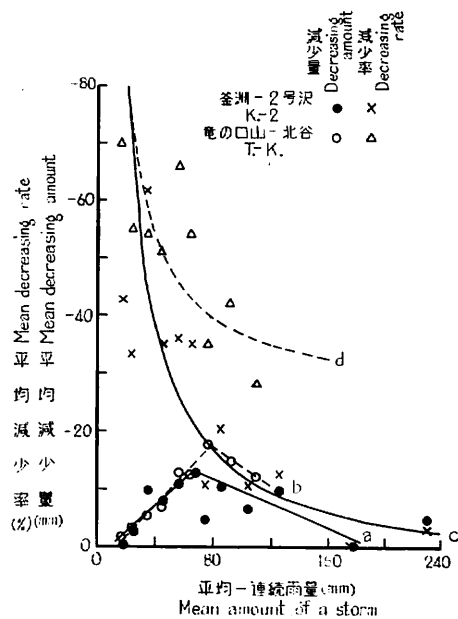


Fig. 60 平均一連続雨量と対応する増水量の平均減少量・平均減少率の関係
Relations between mean amount of a storm and mean decreasing amount and mean decreasing rate in correspondent quickflow respectively.

を求めると次式が得られる。

$$p\bar{f} = 28.36 + \frac{251.60}{\bar{p}} \quad (\text{釜淵-2号沢, Fig. 59 中の c 線})$$

$$d\bar{f} = 64.94 + \frac{2.30}{\bar{p}} \quad (\text{竜の口山-北谷, Fig. 59 中の d 線})$$

この2つの式から、一連続雨量が100mm前後以上になれば、平均的には増加率は資料の範囲ではほぼ一定とみなしてよいかも知れない。概念的には異常に大きな雨量ではしだいに0に近づく下降曲線になるはずと考えられる。

Table 38 によって平均一連続雨量と平均減少量 ($-d\bar{f}$) との関係を見ると、それぞれ一連続雨量が70, 80mmくらい (第1限界雨量相当) まで雨量とともに減少量は直線的に大きくなり、それぞれ次の式が資料の範囲では得られる。

$$-d\bar{f} = 0.2357 \bar{p} - 2.20 \quad (\text{釜淵-2号沢, Fig. 60 中の a 線})$$

$$-d\bar{f} = 0.2690 \bar{p} - 3.55 \quad (\text{竜の口山-北谷, Fig. 60 中の b 線})$$

また、この限界以上の雨量ではそれぞれ次式で表わされ、雨量とともに直線的に小さくなる傾向がみられる。

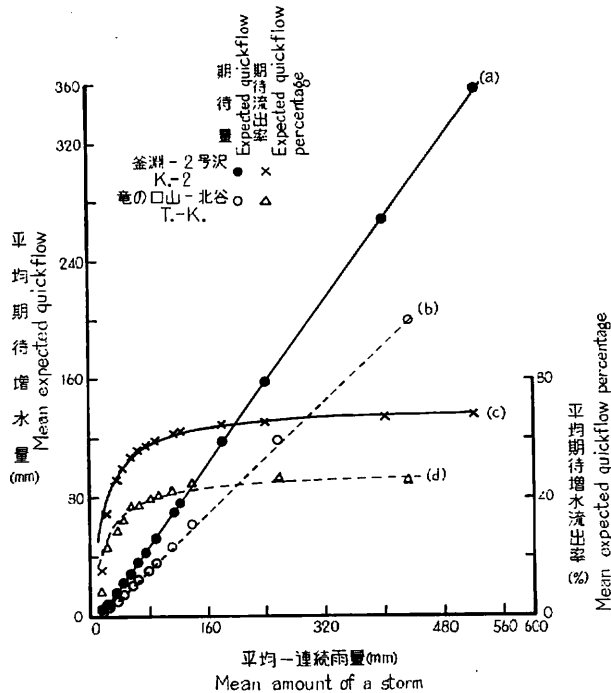


Fig. 61 平均一連続雨量と平均期待増水量・平均期待増水流率の関係
Relations between mean amount of a storm and mean expected quickflow and mean expected quickflow percentage respectively. :

$$-d\bar{r} = 19.59 - 0.1040 \bar{p} \quad (\text{釜淵-2号沢, Fig. 60 中のa線})$$

$$-d\bar{r} = 30.59 - 0.1691 \bar{p} \quad (\text{竜の口山-北谷, Fig. 60 中のb線})$$

平均減少率 ($-d\bar{r}$) については増加の場合と同様な双曲線状曲線関係がみられ、実験式を求めると、それぞれ次式が得られた。

$$-d\bar{r} = \frac{1735.15}{\bar{p}} - 4.97 \quad (\text{釜淵-2号沢, Fig. 60 中のc線})$$

$$-d\bar{r} = \frac{1151.73}{\bar{p}} + 25.01 \quad (\text{竜の口山-北谷, Fig. 60 中のd線})$$

また、考えられる各雨量階級別の最大増加率・最大減少率、そして期待量との計算から最大増加量・最大減少量の目安も Table 37, 38 から得られる。

なお平均一連続雨量 ($\bar{p}$) と平均期待増水量 ($\bar{r}$) との関係は前述したとおり、また Fig. 61 に示すように、資料の範囲では直線的関係としても良いと考えられ、それぞれ次式で表わされよう。

$$\bar{r} = 0.6979 \bar{p} - 8.84 \quad (\text{釜淵-2号沢, Fig. 61 中の(a)線})$$

$$\bar{r} = 0.4801 \bar{p} - 6.13 \quad (\text{竜の口山-北谷, Fig. 61 中の(b)線})$$

この関係は厳密には非直線的関係、たとえば雨量のある階級で定数が変化する次のような指数曲線

$$\bar{r} = a\bar{p}^b$$

の組合せで、きわめて豪雨のときは定数がほとんど1に近づくことが考えられるので、全体としてS字状曲線になるものと考えられるが、ここに用いた資料の範囲では平均的關係を直線とみても良いと判断した。ただし、概念的には曲線的と考えられるので、直線的関係として扱う場合は、とくに一連続雨量 200mm

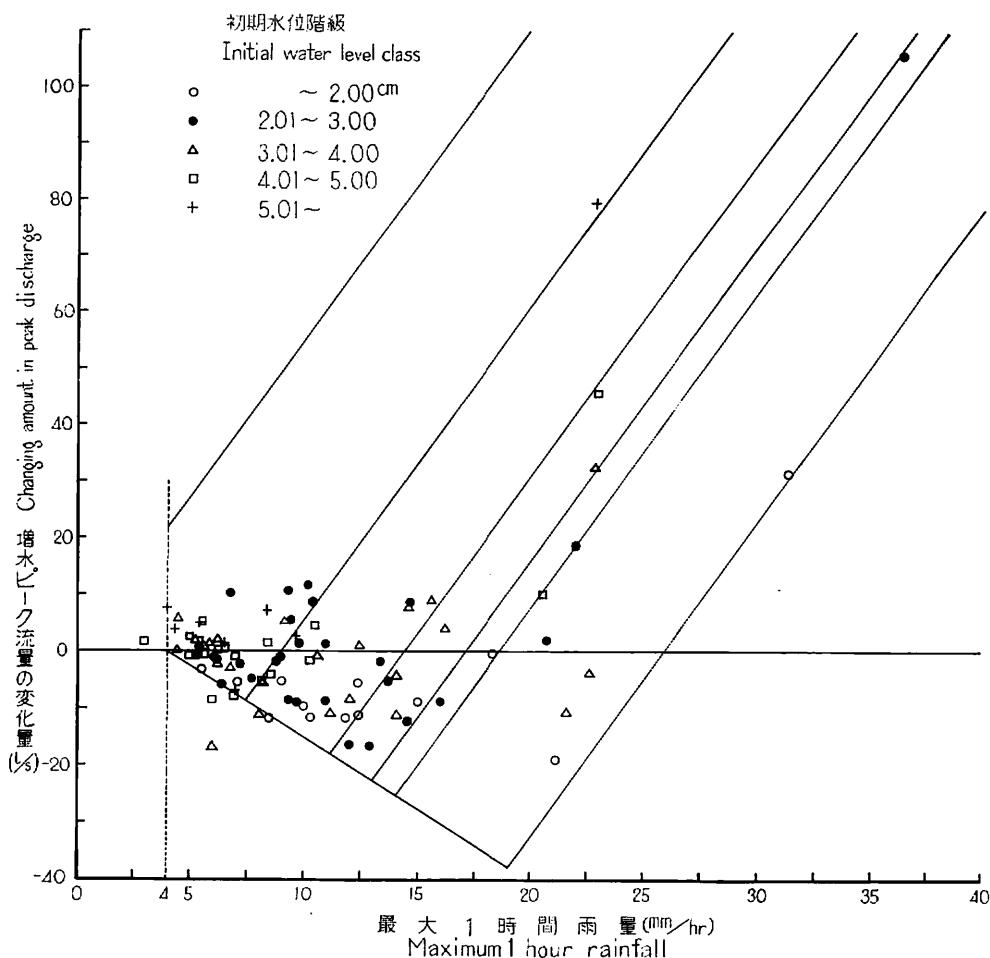


Fig. 62 釜淵一2号沢における増水ピーク流量の変化量と初期水位・最大1時間雨量の関係
Relation among initial water level, maximum 1 hour rainfall and changing amount in peak discharge on K-2.

以上で、増水量が実際より多少小さく見積られる可能性があることを注意しておく必要がある。

この直線関係を認めると、平均増水流率 ($C\bar{r}$) と平均一連続雨量との関係は曲線関係となり、実験式を求めるとそれぞれつぎのようになった。

$$C\bar{r} = \frac{\bar{p}}{0.0141\bar{p} + 0.26} \quad (\text{釜淵一2号沢, Fig. 61 中の(c)線})$$

$$C\bar{r} = \frac{\bar{p}}{0.0204\bar{p} + 0.40} \quad (\text{竜の口山一北谷, Fig. 61 中の(d)線})$$

ただし、これらは資料の範囲でいえることで、前述のように一連続雨量と増水量の関係をS字状曲線としてみれば、これとは多少異なってくるし、ことに400~500mm以上になれば r は限りなく p に近づき、増加率は0に近づき、下降曲線になるものと考えられる。

(b) 増水ピーク流量

皆伐による増水ピーク流量の変化が単純でない原因として、降雨や出水直前の流域の乾湿状態が関係するであろうことは、前述の増水量の場合から十分推量できる。そして降雨因子については、とくに一連続雨量より降雨強度が強く影響するだろうことも想像に難くない。このことを示唆した報告¹²¹⁾もある。そこで、資料を得られた最大1時間雨量・初期水位と変化量との関係を調べた。

(i) 釜淵一2号沢

Fig. 62 は変化量と最大1時間雨量の関係を示す。

増水量の場合と同様に全体に点のばらつきが激しいが、同じ初期水位階級を便宜的に区分すると、増水量の場合と定性的には同様な整理ができる。このことは増水量と増水ピーク流量との間に高い相関関係があることが推定できることから当然のことといえよう。

Fig. 62 からまず最大1時間雨量が4 mm/hr 以下では、出水があっても増水ピーク流量を検討できるほどの出水にはほとんどならなかったことがわかる。

つぎに点群を全体としてみると、増加・減少の両方があるが、増水量の場合とまったく同様に各水位階級に共通にある限界の最大1時間雨量（便宜上、第1限界最大1時間雨量と呼ぶ）以下では減少量は1時間雨量とともに大きくなり、この限界強度以上では小さくなり、次のある雨量強度（第2限界最大1時間雨量）以上では増加となる。しかも急激に増加量が大きくなる傾向が認められる。そして、この資料の範囲では増水量の場合よりも変動幅の小さい帯状に点が分布している。しかし資料が少ないこと、ことに第1限界最大1時間雨量付近の資料が少ないこと、および後述の竜の口山—北谷の場合を考慮に入れると、やはり全体としての増加の最大限度を示すにとどめざるを得ないようである。

以上から増水量の場合と同様に、変化量の各種の限度をみると次のようである。

第1限界最大1時間雨量以下の時雨量での減少量と最大1時間雨量との関係については、各時雨量ごとの減少量の最大限度は各水位階級にはほぼ共通で、次の直線式で表わせるとしてよからう。

$$-4q = 2.5 P_h - 10 \quad (\text{釜淵一2号沢})$$

ただし、 $4q$ は増水ピーク流量の減少量 (l/s), P_h は最大1時間雨量 mm/hr で、この式が適用できる最大1時間雨量の範囲の下限は4 mm/hr, 上限は後述するように第1限界最大1時間雨量で、前述初期水位階級順にはほぼ19, 14, 13, 11, 7.5 mm/hr である。

つぎに、第1限界最大1時間雨量以上の時雨量の場合の変化量と時雨量の関係を全体としてみると、ほぼ次の直線式で表わしてよいようである。

$$4q = 5.5540 P_h - c \quad (\text{釜淵一2号沢})$$

各初期水位階級の点群の下縁にそって、この直線をあてはめると、 c は当然各階級で異なり、前述階級順にはほぼ144, 103, 95, 80, 50となった。ただし、値は適宜丸めた。なお一部にかけ離れた点が数個あるが、これは機械的に区分した初期水位階級の境界付近に属するものが主であるので、これを適宜下位の水位階級に属せしめることとした。

このようにすると、上述した第1限界最大1時間雨量がきまり、また減少量の予想される最大限は前記の初期水位階級順にはほぼ38, 24, 22, 18, 8 l/s となる。

変化量と最大1時間雨量との関係を直線の組合せでなく、ある種の曲線で表わす方が実際には正しいとすれば、第1限界最大1時間雨量、予期される最大減少量の値は上述のものより小さいものとなろう。今後の研究課題である。

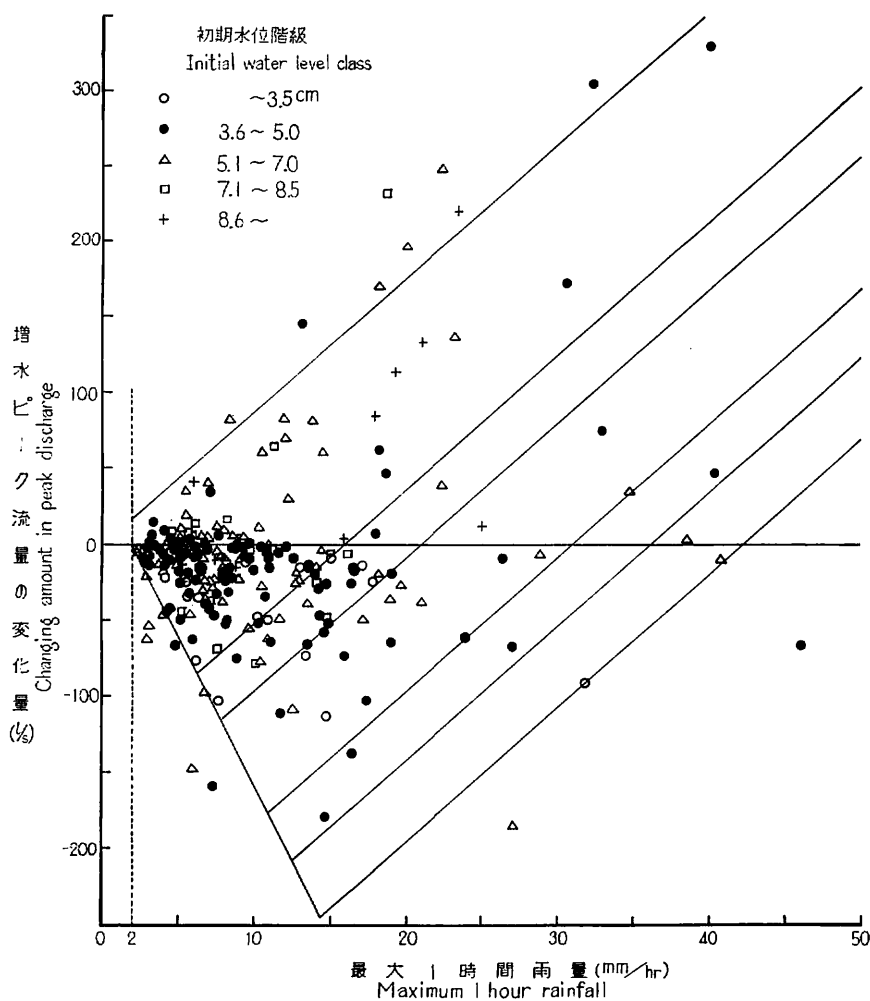


Fig. 63 竜の口山—北谷における増水ピーク流量の変化量と初期水位・最大1時間雨量の関係
Relation among initial water level, maximum 1 hour rainfall and changing amount in peak discharge on T.-K.

減少が増加に変わる第2限界最大1時間雨量は前記水位階級順にほぼ 26, 18.5, 17, 14.5, 9 mm/hr となり、筆者は先に 22mm/hr 以上では増加になると報告したが⁷⁴⁾、詳細にみるとこのようになる。

さらに全水位階級を通じて増加量の最大限度は、ほぼ次の直線式で表わしてよからう。

$$\Delta q = 5.5540 P_h - 14 \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

なお、ほぼ2.5mm/hr 以下では増水ピーク流量が増加するような流域の湿潤状態でも、ほとんど出水が起こらなかった。

(ii) 竜の口山—北谷

釜淵の場合と同様な傾向が明らかに指摘できる (Fig. 63)。

第1限界最大1時間雨量以下の時雨量での減少量と最大1時間雨量との関係については、各時雨量ごとの減少量の最大限度は各初期水位階級にほぼ共通で、次の直線で表わせるようである。

Table 39. 増水ピーク流量の一連続雨量階級別の平均増加
Mean increasing amount in peak discharge by classes of amount of a storm

一連続雨量階級 Class of amount of a storm mm	平均一連続雨量 Mean amount of a storm mm	平均期待増水ピーク流量 Mean amount of predicted peak discharge l/s	平均増加量 Mean increasing amount l/s	平均増加率 Mean increasing rate %	増加率の最大値 Maximum increasing rate %	備考 (資料数) Number of data
釜淵一2号沢 K.-2.						
～ 20.0	16.3	1.62	2.61	165.3	242.8	3
20.1～ 30.0	25.5	5.04	2.61	118.4	603.9	7
30.1～ 40.0	35.0	8.43	2.81	60.7	205.0	4
40.1～ 50.0	46.0	14.98	13.94	62.4	283.0	7
50.1～ 60.0	52.8	22.84	12.88	49.6	119.4	5
60.1～ 80.0	73.6	29.89	11.42	36.2	51.7	6
80.1～100.0	87.7	25.80	7.84	23.7	41.2	3
100.1～120.0	111.4	36.21	15.79	38.7	68.1	3
120.1～160.0	122.9	30.77	11.82	38.4	38.4	1
160.1～	242.9	70.00	31.76	31.4	84.1	4
竜の口山一北谷 T.-K.						
～ 20.0	16.3	3.97	3.30	326.1	1414.9	17
20.1～ 30.0	24.5	15.28	4.90	42.8	103.4	19
30.1～ 40.0	35.7	51.68	20.76	32.7	110.8	14
40.1～ 50.0	44.7	65.30	29.73	58.8	113.8	6
50.1～ 60.0	55.9	72.95	79.15	110.2	131.4	2
60.1～ 70.0	63.9	96.53	72.46	74.8	128.5	6
70.1～ 80.0	80.1	136.20	65.94	45.9	109.6	5
80.1～100.0	88.4	144.09	94.39	63.6	123.6	6
100.1～120.0	112.5	189.08	220.41	112.6	153.4	4
120.1～160.0	144.5	237.39	160.44	68.9	82.3	3
160.1～	237.5	402.10	248.31	61.7	61.7	1

Table 40. 増水ピーク流量の一連続雨量階級別の平均減少
Mean decreasing amount in peak discharge by classes of amount of a storm

一連続雨量階級 Class of amount of a storm mm	平均一連続雨量 Mean amount of a storm mm	平均期待増水ピーク流量 Mean amount of predicted peak discharge l/s	平均減少量 Mean decreasing amount l/s	平均減少率 Mean decreasing rate %	減少率の最大値 Maximum decreasing rate %	備考 (資料数) Number of data
釜淵一2号沢 K.-2.						
～ 20.0	16.1	6.29	- 3.21	- 45.7	- 63.4	4
20.1～ 30.0	23.3	13.42	- 6.03	- 44.9	- 79.1	10
30.1～ 40.0	33.9	11.32	- 3.99	- 33.0	- 65.8	8
40.1～ 50.0	43.7	13.48	- 7.96	- 51.1	- 91.7	6
50.1～ 60.0	55.9	20.67	- 8.55	- 41.5	- 42.3	2
60.1～ 70.0	66.3	17.02	- 7.14	- 41.9	- 65.6	8
70.1～ 80.0	75.6	16.99	- 2.59	- 15.2	- 15.2	1
80.1～100.0	93.3	23.28	- 8.41	- 36.0	- 48.1	5
100.1～120.0	112.1	32.10	- 4.59	- 18.2	- 35.1	3
120.1～	208.6	48.48	- 11.37	- 25.3	- 48.5	5
竜の口山一北谷 T.-K.						
～ 20.0	14.7	12.25	- 8.52	- 61.4	- 96.0	48
20.1～ 30.0	24.6	20.60	- 12.58	- 60.0	- 97.8	51
30.1～ 40.0	34.4	36.13	- 19.03	- 53.9	- 95.0	35
40.1～ 50.0	43.3	56.42	- 32.68	- 56.3	- 92.5	15
50.1～ 60.0	55.0	73.50	- 45.58	- 61.6	- 87.6	24
60.1～ 70.0	64.4	94.86	- 47.44	- 49.7	- 78.7	11
70.1～ 80.0	75.6	108.33	- 84.48	- 78.4	- 91.7	3
80.1～100.0	90.9	146.15	- 57.70	- 41.5	- 88.0	12
100.1～120.0	109.0	174.53	- 76.56	- 43.6	- 71.0	6
120.1～160.0	133.0	220.27	- 123.85	- 57.1	- 81.1	4
160.1～	353.0	603.69	- 146.78	- 24.2	- 24.5	2

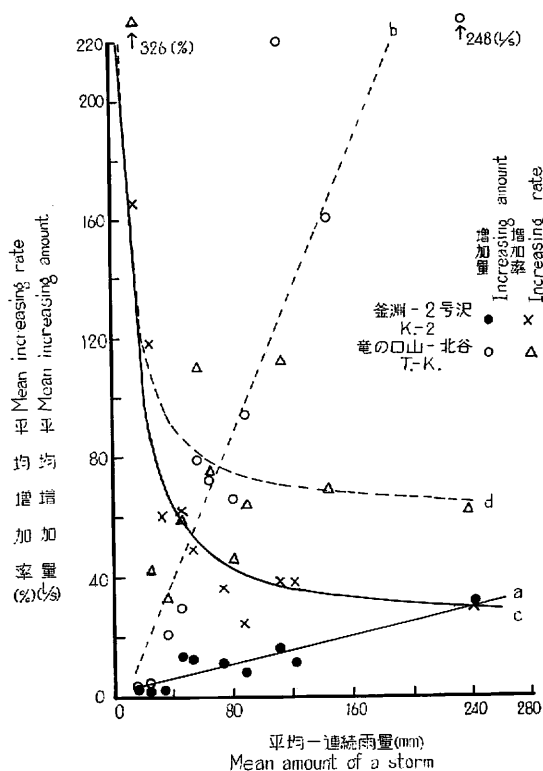


Fig. 64 平均一連続雨量と対応する増水ピーク流量の平均増加量・平均増加率の関係

Relations between mean amount of a storm and mean increasing amount and mean increasing rate in correspondent peak discharge respectively.

際には正しいのかもしれない。そのときは第1限界最大1時間雨量および予想される最大減少量の値は、上述のものより小さくならう、こんどの検討が望まれる。

変化が減少から増加に変わる第2限界最大1時間雨量は前記の水位階級順にほぼ42, 36, 31, 21, 16 mm/hr で、水位階級によって異なる。

全初期水位階級を通じて増加量の最大限度は、1 mm/hr 以下の雨では増水ピーク流量が増加するような流域の湿潤状態でもほとんど出水が起こらなかったことを考慮に入れると、ほぼ次の直線式で表わしてよからう。

$$\Delta q = 8.8479 P_h - 9 \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

(iii) 一連続雨量階級と増水ピーク流量の平均変化量

増水量の場合と同様にして、いちおう流域の初期乾涸条件を除外して考え、この検討の範囲で、針広混交林もしくはアカマツの成林を皆伐して、低木・草の植被に転換することによる増水ピーク流量の変化の目安とするため、一連続雨量階級別に変化量の平均値をまとめてみる。

Table 33 その他の資料により、増水量の場合と同様に、一連続雨量階級別と増水ピーク流量の変化、その他をまとめると Table 39, 40 のようになる。

Table 39 から平均一連続雨量 ($\bar{p}$) と平均増加量 (Δq) との関係をみると、両流域ともおおよそ直線

$$- \Delta q = 20 P_h - 40 \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

この式が適用できる最大1時間雨量の範囲の下限は2 mm/hr, 上限は後述するように第1限界最大1時間雨量で、前述の初期水位階級順にほぼ14, 12, 11, 8, 6 mm/hr である。

第1限界最大1時間雨量以上の時雨量における変化量と時雨量との関係を全体として求めるとはば次の直線式で表わされよう。

$$\Delta q = 8.8479 P_h - c \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

各初期水位階級の点群の下縁に沿ってこの直線をあてはめると、 c は前記の水位階級順にほぼ372, 318, 274, 185, 140となった。

ただし Fig. 63 中の一部に、かけ離れた点があるが、これらは釜淵の場合と同様の理由により下位の階級に属するものとした。

このようにして第1限界最大1時間雨量の上記の値が決まり、また減少量の予想される最大量が前記の水位階級順にほぼ250, 200, 180, 120, 80 l/s となる。

変化量と最大1時間雨量との関連を直線の組合せでなく、ある種の曲線で表わす方が実

的關係が認められ、それぞれ次式で表わせよう

(Fig. 64)。

$$\Delta \bar{q} = 0.1175 \bar{p} + 1.79$$

(釜淵—2号沢, Fig. 64 中の a 線)

$$\Delta \bar{q} = 1.2058 \bar{p} - 8.23$$

(竜の口山—北谷, Fig. 64 中の b 線)

この場合も、増水量の場合と同様に、概念的には S 字状曲線と考えられ、Fig. 64 の点の分布をそのように読むこともできよう。しかしこの不十分な資料では断定的なことはいえず、かつ資料の範囲に限って目安として直線的関係とみなしてもよからう。

次に平均増加率 ($d\bar{q}$) との関係をみると、増水量の場合と同様に、双曲線状の曲線関係とみられるようで、次の実験式が得られた。

$$d\bar{q} = 23.02 + \frac{1599.00}{\bar{p}} \quad (\text{釜淵—2号沢, Fig. 64 中の c 線})$$

$$d\bar{q} = 60.52 + \frac{1177.61}{\bar{p}} \quad (\text{竜の口山—北谷, Fig. 64 中の d 線})$$

しかし増水量の場合と同様、異常に大きい雨量ではしだいに 0 に近づく下降曲線になるものと考えられる。

Table 40 により平均減少量 ($-\Delta \bar{q}$) と平均一連続雨量の関係をみると、それぞれ資料の範囲では双曲線状曲線関係があるとみられ、それぞれ次式が得られた (Fig. 65)。

$$-\Delta \bar{q} = \frac{\bar{p}}{0.0907 \bar{p} + 5.59} \quad (\text{釜淵—2号沢, Fig. 65 中の a 線})$$

$$-\Delta \bar{q} = \frac{\bar{p}}{0.0021 \bar{p} + 1.33} \quad (\text{竜の口山—北谷, Fig. 65 中の b 線})$$

実際には両曲線は、さらに急激に漸近線に近づく曲線と考えられるが、平均一連続雨量 160mm 以上の資料が少ないため断定的なことはいえない。

平均減少率 ($-d\bar{q}$) についても曲線関係がみられ、実験式を求めるとそれぞれ次式が得られた。

$$-d\bar{q} = 21.13 + \frac{665.78}{\bar{p}} \quad (\text{釜淵—2号沢, Fig. 65 中の c 線})$$

$$-d\bar{q} = 22.19 + \frac{1973.09}{\bar{p}} \quad (\text{竜の口山—北谷, Fig. 65 中の d 線})$$

この場合も概念的には異常に大きい雨量ではしだいに 0 に近づく下降曲線になるはずと考えられる。

なお Table 39, 40 から、考えられる各雨量階級別の最大増加率ならびに最大減少率が、また期待量との計算から最大増加量ならびに最大減少量の目安が得られる。

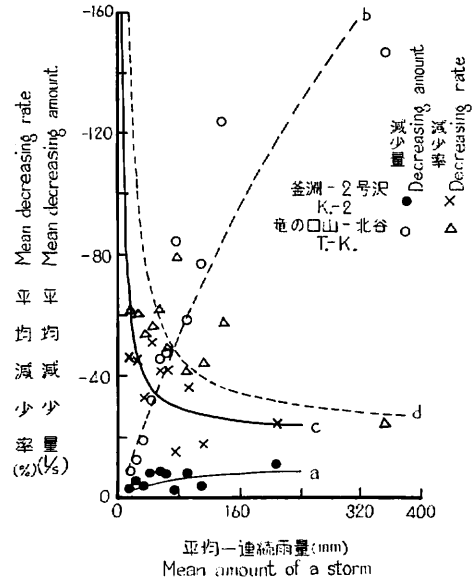


Fig. 65 平均一連続雨量と対応する増水ピーク流量の平均減少量・平均減少率の關係
Relations between mean amount of a storm and mean decreasing amount and mean decreasing rate in correspondent peak discharge respectively.

VI-3. 森林伐採ならびに伐跡地の植被変化と流出

VI-3-1. 年流出量

(a) 全林木除去の影響

(i) 皆 伐

ずり出し道またはこれと車道新設による集運材をともなった皆伐、あるいはほとんど皆伐に近い森林除去が完了し、林地が低木をまじえた草地に転換したとき、年流出量・年流出率が増加することは上川・竜の口山で明らかに認められた。

このことはすでに、釜淵・竜の口山試験の中間報告で認められていたことである。また、ここで知られる限りの試験報告、すなわち太田・Coweeta-1・Coweeta-3・Coweeta-37・Fernow-1・Wagon Wheel Gap-B・Kenya-Kimakia A の 7 つの試験結果と一致する。また Coweeta-13・Coweeta-17 では伐採木の搬出が行なわれなかったにもかかわらず、同様にして明りょうな増加が認められている。

これらの試験に供された森林は、各種の樹種を含む針葉樹林・広葉樹林・針広混交林・竹林で、林齢・林相も多様である。年降水量も Wagon Wheel Gap-B の 536mm から釜淵-2 号沢の 2641mm の範囲にまたがっており、他の気象条件もきわめて多様である。流域面積は釜淵-2 号沢の 2.5 ha から上川-北谷の 645.5 ha の範囲で、その他の流域条件もきわめて異なっている。

このような幅のある流域条件下にもかかわらず、1 流域の全林木を伐採することにより年流出量・年流出率が増加することはかなりの確かさで認められることとなる。もちろん釜淵-2 号沢のように、増加傾向がほぼ認められるものの多少信頼性の低いものもあり、こんどもなお別の条件下での同種試験が行なわれることも無意義ではなからう。

次に皆伐後の最大増加量 (mm) を調べる。

この報告では次のようである。

上川-北谷 : 268, 釜淵-2 号沢 : 217

竜の口山-南谷 : 210, 竜の口山-北谷 : 205

Wagon Wheel Gap-B : 46

これに対して、既往結果は次のようである。

太 田 : 187, Coweeta-13 : 373

Coweeta-17 : 444, Coweeta-1 : 152

Coweeta-3 : 127, Coweeta-37 : 286

Fernow-1 : 130, Kenya-Kimakia A : 457

以上から、本報告における日本の 4 流域では既往知られている増加量の範囲内の増加であったことが知られる。

これらの最大増加量は試験流域の全林木、あるいはほぼ全林木が伐採された年あるいはその翌年に起きている。したがって、大部分がいわゆる森林処理後第 1 年目の増加量でもある。ただし釜淵では、皆伐後数年間再生樹草の刈り払いが行なわれた後に起こったものであり、Wagon Wheel Gap では一部で伐採木の焼却が行なわれた後起こったものである。

これらの値は、Wagon Wheel Gap の 46mm から Kenya-Kimakia A の 457mm まで、広範囲に変動している。いずれもある範囲の誤差を含むが、大部分は推計学的に有意であることが確かめられている。

る。このように変動するのは、試験ごとに流域ならびに気象条件、ことに降水条件が異なる上に、同じ皆伐でも実施期間・解析方法など試験条件に違いがあるから当然のことであろう。

Kenya の 457mm, Coweeta-17 の 444mm はきわめて大きい。このことだけから 450mm 前後を、森林皆伐による年流出量増加の最大限として考えることは早計であるかもしれない。San Dimas-Monroe Canyon の溪岸木伐採で大きな増加が認められており、後述するように伐採面積率と増加量がある程度比例するものと考えれば、これは皆伐で 625mm の増加の可能性があるという見方⁹⁶⁾もできるからである。また前述のように、降水条件によって大きく左右されるし、またそれぞれある程度の誤差を含んでいるからである。しかし日本の流域の場合、200～300mm以下の範囲で増加するものと考えれば無難ではなからうか。

つぎに、これら最大増加量を増加率（％）でみるとつぎのようになる。

上川—北谷：33, 釜淵—2号沢：10

竜の口山—南谷：46, 竜の口山—北谷：43

Wagon Wheel Gap-B：30

これに対して既往結果は次のようである。

太 田：20, Fernow-1：19

これらだけからすると、増加率は10～50％の範囲であるとみるのが現状のようである。

また、これらの最大増加量を年流出率（％）の増加でみると、つぎのようになる。

上川—北谷：19, 釜淵—2号沢：8

竜の口山—南谷：15, 竜の口山—北谷：14

Wagon Wheel Gap-B：9

これに対して、既往結果はつぎのようである。

太 田：12, Fernow-1：8

これらからすると、年流出率は8～20大きくなる（増加の割合は10～50％）ものと考えられる。

(ii) 山 火

竜の口山—南谷では1959年の後期に、低木を交えた草地状態のとき山火にあい、全植生を焼失した。このため、後年明らかに増加が起こった。すなわち、翌水年に、140mm、4年後（1963年）に217mmの最大増加が起こった。増加率で55, 74％、年流出率の増加23, 26に相当する。最大増加量は1945年の皆伐後の場合とほぼ同じである。

Santa Anita 試験では山火の翌年に63mm（増加率231％）、翌々年に最大の79mm（増加率26％）という結果を得ており、San Dimas 試験でも山火後明らかに増加したと言われている。

山火による植生焼失の影響は皆伐のそれよりもいっそう厳しいとも想像されるが、資料が不十分で検討できない。

(b) 一部林木除去の影響

(i) 択伐および虫害による枯死

5か年にわたり利用価値のある林木が逐次小団地状に伐採され、蓄積で50％除去された後、年流出量・年流出率が増加したことは宝川試験で認められた。

このような流域内の一部林木の伐採の影響は、上川—南谷・Coweeta-22・Sierra Ancha-South Fork

・Meeker・Kenya-Kericho Sambret・Southwestern Washington で試験あるいは調査されているが皆伐の場合同様、試験条件が雑多であるにもかかわらず、次の 1 例を除いてすべて増加したことを報告している。Southwestern Washington の場合は広大な流域における 27 年間にわたる面積で、年平均 2% という弱度の択伐であったため、ほとんど影響がなかったとしてよからう。

宝川では択伐進行中にも増加の傾向がみられるが、完了の年に 161mm (増加率 10%)、年流出率の増加 8 が推計学的に有意に認められ、3 年後に年流出量の増加 276mm (増加率 19%)、年流出率の増加 13 が最大値として認められた。

森林・地文・気象の基礎条件はもちろん、伐採方法たとえば小団地状択伐・単木択伐・帯状択伐などの違い、搬出方法の違いなどから各試験ごとに増加量に違いがあるのは当然であろう。上川一南谷では蓄積で 50% の択伐が年平均で 120mm (増加率 17%)、流出率で 9% 増加したと推定され、Coweeta-22 では胸高断面積合計で 50% の帯状択伐が、第 1 年に 198mm の最大増加をもたらした。Coweeta-10 では 14 年間にわたる択伐 (胸高断面積合計で 30%) で年平均 25mm の増加であった。Coweeta-40・Coweeta-41 ではそれぞれ前同様に 22%・35% の短期択伐により前者は変化なく、後者は最大 50mm の増加がみとめられた。Coweeta-28 では面積で 50% に相当する一部の団地状伐採で 200mm の増加がみられた。Fernow の No. 2, No. 5, No. 3 各流域では、胸高断面積合計でそれぞれ 36, 22, 14% の単木択伐により第 1 年にそれぞれ 130mm (増加率 19%)、86mm (16%)、25mm (3%) の増加がみられた。Fernow-7 では上流部 50% 地域の団地状伐採で、少なくとも 90mm 以上増加する可能性があると考えられている。H.J. Andrews の No. 1・No. 3 では面積でそれぞれ 40%・8% の択伐により増加が認められている。Sierra Ancha-South Fork では 4 か年にわたる胸高断面積合計で 45% の択伐がわずかな増加をもたらした。Fraser-Fool Creek では帯状小団地状伐後第 1 年に 107mm (増加率 37%) の最大増加をもたらした。

以上を通覧すると、試験条件がきわめて多様であるにもかかわらず、択伐率がきわめて低いとき、合計択伐率は高くても長期にわたって伐採が実行されたときはほとんど影響が無いこと、同じ択伐率でも単木択伐より団地状択伐の方が影響が強いことがうかがわれる。しかし、どの試験でも誤差がかなり大きいから、増加量の小さいものについては信頼度は低い。

(ii) 溪岸林分伐採

竜の口山一北谷では、面積で 2.5% に相当する溪岸沿いの帯状再生林分が伐採された年に、有意な増加が認められた。水年末 2 か月半の影響期間で 158mm の増加であった。この量が単に伐採によるものであるかどうかは疑問があるが、少なくとも増加方向に影響したことは認められよう。また上川一北谷の 1957-58 水年の増加量がその前年、あるいは後年のそれに比べて大きいのも溪岸林分の伐採の影響が加わったためかも知れない。

Coweeta-1 では面積で 25% の溪岸林分を薬剤で枯らした後、第 1 年に最大増加 46mm が認められた。Coweeta-6 では胸高断面積合計で 12% の溪岸林分を伐採したが流出に変化はみられなかった。San Dimas-Monroe Canyon では面積 1.7% の溪岸林分を伐採したが、第 1 年に 10mm の増加が認められた。Sierra Ancha-North Fork では面積で 1% の伐採はなんら影響がなかったが、追加伐採が 32% まで拡大されたとき最大 51mm の増加が認められた。

以上から溪岸林分の伐採により年流出量が増加する、しかし伐採量が非常に小さいときは増加しないことが認められた。しかし、増加量については伐採量はもちろん溪岸地区の地文条件などによって左右され

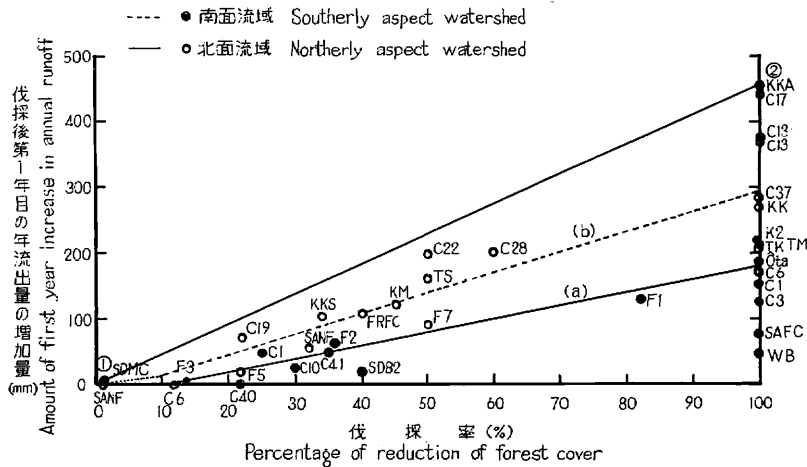


Fig. 66 各地の森林理水試験における伐採率と伐採後第1年の年流出量の増加量の関係
Relation between amount of first year increase in annual runoff after cutting from experiments of the world and percentage of reduction of forest cover with the division in aspect of watershed.

ようから、一概にいえないのは当然であり、ここでは40～50mmの増加をもたらした試験例があるといえるにとどまる。竜の口山の大きな増加量については、解析誤差も大きいのでこんごの検討を要しよう。

(iii) 下木伐採

この報告では上木を残し、下木だけを伐採除去する試験は扱っていないが、Coweeta-19では広葉樹林下の下木だけを除去し、1年目に71mmの増加を認めている。現状ではこの試験例から、下木だけの除去もかなりの影響がありうると考えられる。

(iv) 伐採率と増加量との関係

前述の多数の試験結果から、森林伐採率と伐採後第1年の増加量（ほとんどの場合最大増加量に相当する）との関係をまとめたのが Fig. 66 である。この図は HIBBERT³⁵⁾ のものを補強して作られた。

この場合、伐採率は主として胸高断面積合計の減少率で、一部は林分面積の減少率で示されている。また流域の主方位により SW～S～EN 向きの流域を南面流域、WS～N～NE 向きの流域を北面流域として分類した。Fig. 66 中の①は San Dimas-Monroe Canyon, ②は Kenya-Kimakia A の値である。

HIBBERT³⁵⁾ が指摘したようにすべての点は原点と450mmの点を結んだ線より下方にある、すなわち日本における試験結果をそう入しても HIBBERT の指摘は変わらない。

全体として、伐採率とともに増加量が大きくなる直線的傾向がうかがえる。方位で区分するとさらに明らかである。いま直線で表わせるものとする、次式が得られる。

$$\Delta D = 1.9918 RC - 21.8 \quad (\text{南面流域, Fig. 66 中の(a)線})$$

$$\Delta D = 3.1046 RC - 16.8 \quad (\text{北面流域, Fig. 66 中の(b)線})$$

ただし、 ΔD は年流出量の増加量 (mm), RC は伐採率 (%) である。

前述のように、試験条件が多様多様であるから点がばらつくのは当然であるが、これだけ多様な試験にもかかわらず、少なくとも伐採率が大きくなるにつれて増加量も大きくなる関係がほぼ認められることは注目してよからう。

HIBBERT³⁵⁾ は Fig. 66 中の Coweeta の値だけについて、北面流域と南面流域でははっきり 2 つのグループに分かれ、それぞれに植被減少率と増加量の間にかなり高度な回帰関係が得られることを指摘した。しかし、Fernow の値だけをとると方位に関係なく全体として高度な回帰関係が得られることも指摘したが、両者の違いの理由は明らかにしていない。筆者は Fernow では方位に無関係であるということではなく、その影響が小さいということにすぎないと考える。

ともかく上述のように、一般的にも方位で流域グループを分けるといっそう増加量と伐採率の関係が明りようになるように考えられる。これらの結果は伐採による流出量増加の理由として、蒸発散に着目すべきことを示唆するものと考えられる。

(c) 林木生育の影響

(i) 伐跡地への樹草の再生

皆伐後、その跡地樹草が再生するにつれて増加量が小さくなっていくことは、上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap の例でみられた。釜淵の階段工期でも明らかに認められた。

このことは、降水の降り方が比較的単純な Coweeta の No. 13, No. 17 のほか多数の試験流域の結果で明らかに認められている³⁵⁾⁶³⁾ことと一致する。

KOVNER は伐採後 35 年くらいたつと、増加はなくなるだろうと予想したが、Coweeta-13 の伐採後 23 年たったときの実態はほぼこれを裏付けているようである。この増加量が小さくなっていくレートは既往結果から考えると、当然のことながら植被回復のレートに比例する。したがって、気象・地文条件などが植物生育に適当なところほど減退レートは速く、当初伐採率が低いほど速いこととなる。Kenya ではきわめて速いと推定されるが、これに対して Coweeta-19 の下層木の回復はおそく、したがって増加量の減退レートもかなり緩慢のようであった。Wagon Wheel Gap・Fraser・Workman Creek 各試験の例もこれに属する。日本の各流域における結果は、降水量の変動がはげしいためと考えられるが、増加量の変動がはげしく全体的に不明りようであるが、比較的減退傾向が明りような竜の口山一北谷で皆伐後 16 年目（放置後半期の最後の年）にもなおかなりの増加量がかなり高い推計学的信頼度でみられることから、この地方でも相当長期間にわたって伐採の影響が維持されるものと推定される。しかし、降水の変動がはげしいから、さらに多年にわたる観測資料を得ないと断定はできない。

(ii) 林木の植栽

この報告では無林地への造林の影響については試験していない。ただ竜の口山一南谷では伐跡地に樹草がある程度再生してから植栽を行なっているが、山火で焼失するまでわずか 5 年（下刈植栽期）では期間が短く、しかも各年に気象条件による変化量の変動が大きく、植栽の影響を明らかにできない。また山火後の植栽については山火の影響の方が強いと考えられ、やはり植栽の影響を明らかにできない。

外国の既往成果によれば、林木植栽とその生育により明らかに年流出量が少なくなっていく傾向が認められている。すなわち Jonkershoek の 2 つの流域では低木地への植栽後 4 年目から 12 年目まで減退し、それ以降は植栽前より年流出量が 100~150mm 少ないままほぼ一様に経過した。そして減少は多雨の年にかえって大きかったという。Coshocton-172・Pine Tree Branch・Central New York の各試験でも植栽木の生育とともに年流出量が小さくなっていく傾向が明らかに示された。

HIBBERT はこれらの関係を図にまとめたが³⁵⁾、面積で 100% 植栽された場合の年流出量の減少量を 220 mm とすると、これを原点と結んだ直線のまわりになんまり密に点が分配されて、植栽面積率と減少量との

関係が示されることを明らかにした。

ともかく造林すると、伐採とは逆に年流出量が減少することが知られており、伐採の影響のチェックとなっている。

なお造林による減少量よりも、伐採による増加量の方が大きいかどうかはこの検討をまたねばなるまい。

（d）伐跡地への階段工築設の影響

釜淵-2号沢で、皆伐跡地にある程度草類が再生した後全域に階段工が築設され、スギが階段上に植栽されたが、その結果面積の7%が一時的に裸地状態になった。このため明らかに年流出量の増加があった。第1年の増加量は、皆伐後の最大増加量よりも大きいものであった。そして、4年後には増加量が小さくなるきざしが現われた。

この種試験はこの1例だけであるので、上述のことが一般的かどうかは、なお追試が必要であろう。

VI-3-2. 季節流出量

（a）全林木除去の影響

（i）皆伐

ずり出し道と車道新設による集運材を伴った皆伐あるいは皆伐に近い林木除去が完成し、林地が低木をまじえた草地に転換されたとき、夏期流出量とその流出率が増加したことは上川・釜淵・竜の口山で明確に認められた。

このことはすでに釜淵・上川・竜の口山各試験の中間報告でほぼ認められており、CoweetaのNo. 1, No. 17やFernow-1などでも同様な結果が得られている。これらの試験は流域・森林・気象各条件が異なるにもかかわらず、同じ結果を示した。

全林木あるいは大部分の林木を伐採し終わった年もしくはその翌年に次のような大きな増加量があった。

上川-北谷：83，釜淵-2号沢：114

竜の口山-南谷：153，竜の口山-北谷：131

Wagon Wheel Gap-B：3.9

日本の4流域については、Fernow-1の111mmとほぼ同等のもので、これらは諸条件が異なるにもかかわらず極端な差がない。これに対してWagon Wheel Gapは夏期間の降水量が他の流域に比べて非常に少ないことが指摘できるかもしれない。

竜の口山で再生樹草の生育を許した放置期に、さらに大きな増加が現われているが、これらは気象条件とくに降水量によるものであろうことは前述のとおりである。

皆伐後樹草の再生を許した数年間について、夏期流出量の最大増加量・最大増加率・夏期流出率の最大増加をみると、この順にそれぞれつぎのようになる。

上川-北谷：83mm，27%，11%

釜淵-2号沢：114mm，41%，15%

竜の口山-南谷：191mm，68%，17%

竜の口山-北谷：208mm，85%，19%

Wagon Wheel Gap-B：4mm，14%，2%

Fernow-1 : 111mm, 33%, —

森林・気象・地況各条件や夏期間の範囲の違いなどを無視して一口に夏期間の流出量の皆伐による増加の限度を大体考えるとき、これらが目安となる。

つぎに、夏期流出量と同様に冬期流出量も増加することが上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap で明らかに認められた。このことは Fernow 試験でも同様である。これらは試験の諸条件がたがいに異なるにもかかわらず、同じ結果を示した。

皆伐を終了した年またはその翌年に次のような大きな増加があった。

上 川一北 谷 : 181mm, 竜の口山一南 谷 : 54mm
 竜の口山一北 谷 : 22mm, Wagon Wheel Gap-B : 44mm
 Fernow-1 : 22mm

上川で異常に大きい、他は極端な差がない。

竜の口山では伐跡地に再生樹草がある程度発達してからもさらに大きな増加がみられたが、これは気象条件によるものと考えられ、とくに降水の多い年に該当している。

ともかく、皆伐後樹草の再生を許された数年間について最大の増加量・増加率・冬期流出率の増加をみると、この順にそれぞれつぎのようになる。

上 川一北 谷 : 181mm, 35%, 24%
 釜 淵一 2 号 沢 : 78mm, 5%, 5%
 竜の口山一南 谷 : 64mm, 110%, 20%
 竜の口山一北 谷 : 96mm, 123%, 21%
 Wagon Wheel Gap-B : 44mm, 29%, 11%
 Fernow-1 : 22mm, 5%, —

森林・気象・地況各条件や冬期間の範囲の違いなどを無視して、皆伐による冬期流出量の増加量を考えるとき、これらの値が参考になろう。

ここで注意を要するのは釜淵一 2 号沢で、伐採後 3～4 年の平均では減少になるが、これは前述のとおり降水条件の関係であり、たまたま少雨年が集中したためと考えられる。小野らは伐採後 8 年間の平均で 1.7%増加したと推定した。釜淵でも他の流域と同様冬期流出量は伐採後増加するが、降水条件によっては減少することもあるとみた方がよいと考えられる。

(ii) 山 火

San Dimas の試験、Santa Anita-Fish Canyon の調査では、一部の森林を伐採した 2 年後に山火が植被を全焼したが、このため夏期流出量が明らかに増加したと認められた。

竜の口山一南谷でも 1959 年の山火で皆伐跡地の再生樹草の焼失により夏期・冬期両流出量ともいおう増加したと認められた。すなわち、皆伐後樹草の回復により増加量・増加率・流出率の増加が平均的には減少傾向にあったものが、この期間にふたたび増加したことで裏付けられる。

夏期流出量の増加量・増加率・流出率の増加の平均値・最大値を、皆伐年から皆伐後放置期までの期間と、山火下刈植栽期間との間で比較すると、いずれも後者の方が大きく、このことから夏期流出量に対する影響は皆伐よりも山火の方が強いかもしれないと推定される。しかしこの場合、山火は再生樹草の焼失であって成林の焼失ではないので、適確には比較できない。こんど検討される必要がある。

このような点については、冬期流出量の場合は明確でない。その理由も明らかにできない。今後の研究課題であろう。

(b) 一部林木除去の影響

(i) 択伐

宝川では4か年にわたり、蓄積で50%の択伐が行なわれたことにより、夏期流出量が増加する傾向が認められた。

このことは、択伐の方法はもちろん森林その他流域条件や気象条件が異なるにもかかわらず、上川一南谷・H. J. Andrews-3・Coweeta-22・Fraser-Fool Creek・Fernow の No. 2・No. 3・No. 5 などでも認められている。

しかし冬期流出量については、宝川では全体としては減少方向で、少なくとも増加したとは言えない。

このことは Coweeta の No. 1・No. 22 流域で、択伐後の冬期流出量の増加量が夏期流出量のそれよりむしろ大きかったことと異なる。

両者の違いは主として気象条件の違いによるものと推定されるが、ここでは明らかにできない。

伐採率と増加量の関係については、年流出量の項で述べたようになんらかの関係があるものと推量されるが、ここでは明らかにできない。また択伐率によって年流出量の変化の季節分配に特徴があること、たとえば択伐量が少ないとき夏期流出量には増加が認められるが、冬期流出量には変化が認められないとか、択伐量が多いときは両方に増加が認められ、しかも夏期流出量の増加より冬期流出量のそれの方が大きいなどの関係があるかもしれないが、ここでは十分明らかにできない。

(ii) 溪岸林分伐採

竜の口山一北谷では面積で2.5%の溪岸の再生林分を伐採除去した後、夏期流出量に増加がみられた。

既往の結果でも伐採量の多かった（胸高断面積合計で25%）Coweeta-1 では同じ結果が明らかに認められた。しかし、伐採量の少なかった San Dimas-Monroe Canyon（面積で1.7%）ではきわめてわずかの増加（そして冬期流出量よりも夏期流出量の方が増加量が多い）がみられ、Coweeta-6（胸高断面積合計で12%）でも増加傾向が推察される程度であった。

これから溪岸林分伐採によって夏期または冬期流出量が増加される傾向は認められよう。しかしその増加量については溪岸部の地況条件や森林・気象各条件はもちろん伐採量等によって大きく異なると考えられるからここでは一般的に言えない。また変化の季節分配についても同様である。竜の口山一北谷の第1年における非常に大きな増加量も夏期の末期に伐採が行なわれており、影響期間が短いことを考えると、伐採よりも他の条件の影響が大きいものと考えられ、増加量に参考になるかどうかは疑わしい。ともかく今後多数の同種試験結果が示されるのをまつほかなかろう。

(iii) 下木伐採

この報告では直接扱っていないが、Coweeta-19 の結果では年流出量の増加量の半分以上が休眠期に起こり、40mm弱であったといわれる。そして伐採後6年間で影響は認められなくなったと報告されている。

(c) 林木生育の影響

(i) 伐跡地への樹草の再生

再生樹草が伐跡地に侵入するにつれて夏期ならびに冬期流出量の増加量が小さくなっていくことは上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap で明らかに認められた。釜淵でも夏期流出量については同様のことが

言える。

これらのことは上川—南谷・Fernow の No.1・No.2・No.3・No.5 や Coweeta の No.13・No.17 その他の諸試験の結果と同様である。

前述のように、年流出量の増加量が再生樹草の発達とともに小さくなっていくことから、これらのことは当然のことであろう。

増加量の減退レートについてみると、流域によって夏期流出量と冬期流出量の間に遅速の違いがあるかもしれないことがうかがわれる。すなわち、竜の口山—北谷では冬期流出量の増加量は皆伐後14～16年目で無くなったかもしれないとみられるが、夏期流出量については年流出量の場合と同様、なお伐採の影響がつづくかにみられる。また、Wagon Wheel Gap では竜の口山とは逆に夏期流出量の増加が皆伐完了後6年目に無くなったかのようにみられるが、冬期流出量（それも融雪期流出量）については年流出量の場合と同様、なお伐採の影響がつづくかにみられる。上川でも多少 Wagon Wheel Gap の場合に類似の傾向がうかがわれる。竜の口山と Wagon Wheel Gap の違いは Fig. 7 で示唆される流域の個性の違いが関係するものと推察される。

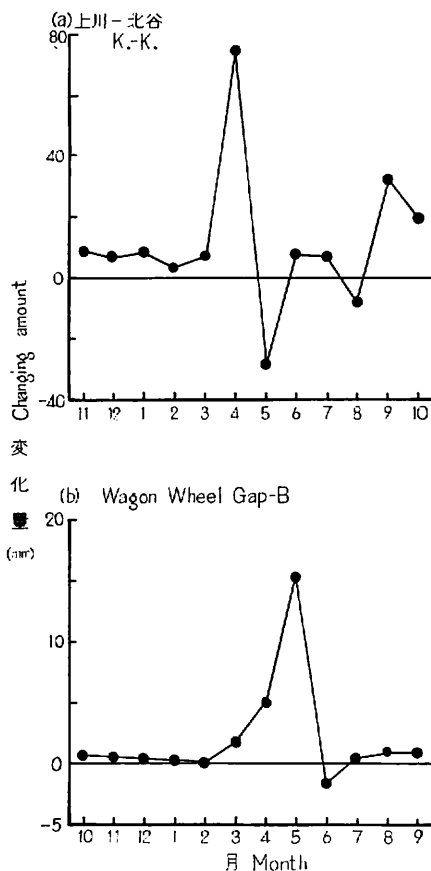


Fig. 67 処理期間における月流出量の変化量の平均値
Mean changing amount in monthly runoff on treatment period.

皆伐跡地の再生樹草の発達により夏期・冬期両流出量が伐採前の状態に復帰する期間については、ここでは明確にできず、一般的な結果をうるにはこんごなお試験が必要であろう。ただ竜の口山の冬期流出量が、16年前後で復旧した、あるいは Wagon Wheel Gap の夏期流出量が6年前後で復旧したとは言えるかもしれない。他は相当長期にわたって、伐採の影響がこのようなものと考えられる。

(ii) 林木の植栽

竜の口山—南谷における植栽の影響は、年流出量の項で述べたように明りょうではない。

ただ Coshocton-172 では植栽木の生育とともに年流出量が小さくなっていったが、19年目の減少量ではその70%が冬期に起こり、残りが夏期に起こったという。Jonkershoek・Pine Tree Branch・Central New York の減少量の季節分配については、ここでは明らかにできない。また、両期流出量の間での影響期間の違いについても、明らかにできない。

(d) 伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で階段工築設後夏期流出量・冬期流出量のいずれも明らかに、大きく増加した。ことに冬期流出量の増加で顕著であった。そして4年後には、いずれも増加量が小さくなる傾向が現われた。

しかし、階段工に関する試験はこの一例にすぎない

Table 41. 処理期間における月流出量の変化方向
Direction of change in monthly runoff for treatment period

月 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上川—北谷 K.-K.												
1954												
1955	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+
1956	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
1957	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
1958	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
1959	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+
釜淵—2号沢 K.-2.												
1947												
1948	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
1949	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
1950	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
1951	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+
1952	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1953	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1954	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
1955	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
1956	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1957	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
1958	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
1959	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
1960	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
1961	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1962	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1963	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+
1964	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-
宝川—初沢 T.-S.												
1948												
1949	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
1950	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
1951	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
1952	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
1953	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-
1954	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-
1955	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
1956	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1957	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
1958	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
竜の口山—南谷 T.-M.												
1944												
1945	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+
1946	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
1947	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+
1948	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
1949	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+
1950	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+
1951	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
1952	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
1953	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
1954	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
1955	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1956	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1957	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+
1958	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1959	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+
1960	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1961	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+

Table 41. (つづき) (Continued)

月 Month 年 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1962	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
1963	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1964	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
1965	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
竜の口山—北谷 T.-K.												
1945	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+
1946	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
1947	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+
1948	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
1949	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1950	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+
1951	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
1952	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-
1953	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
1954	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
1955	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1956	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+
1957	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1958	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
1959	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+
1960	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+
1961	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-
1962	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-
1963	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+
1964	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
1965	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
Wagon Wheel Gap-B												
1919	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-
1920	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1921	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1922	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1923	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1924	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
1925	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
1926	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-

注 - 符号は減少, + 符号は増加を示す。*印は0.05水準で有意なものを示す。

"-" shows "decrease" and "+" "increase", and * shows that the values are statistically significant at 5-per cent level.

ので、これらの傾向についてはなお追試が必要であろう。

VI-3-3. 月流出量

月流出量の変化については、解析精度の悪いものもあり、かつ気象条件による変動がはげしいから、個々の変化量について植生変化との関係を詳細に議論することはほとんどできない。しかし、各月流出量の増加あるいは減少の方向、または推計学的に高度に有意な増加が起こる傾向を全体としてみると、以下述べるような事実が指摘できよう。

Table 28 を増減方向と高度に有意な変化の指摘だけに着目して整理すると Table 41 のようになる。

また、各流域の全処理期間または各処理分期について、変化量の月別平均値を求めて、Fig. 27~30(前掲)および Fig. 67 に示した。

(i) 皆伐・山火の影響

Table 41 および Fig. 27~30・67から次のことがいえる。

積雪流域では融雪期後半に減少し、前半で増加する。すなわち、上川では5月に減少し、3～4月とくに4月に明らかに増加しており、釜淵では4～5月とくに4月に明らかに減少し、2～3月に増加しており、Wagon Wheel Gap でも6月に減少し、明らかに4～5月で増加している。このような事実については、すでに筆者らは既往の報告¹¹⁾で大体指摘していた。そして融雪期後半の減少分がどこへふり向けられたかについては、森林除去により融雪が促進されるため融雪期前半に多く融雪し、流出するものとしたが、このことは上川における4月、Wagon Wheel Gap における5月、釜淵における3月の比較的大きな増加から考えられる。積雪のない竜の口山では6月・8～9月に減少が起これること、ことに6月と9月は減少する可能性が大きいことが指摘できる。そして一方、冬期および4～5月・7月に増加方向が認められ、とくに3～4月・5月・7月の増加は可能性が高いといえる。7月の増加は梅雨期に降水量が大きいことに因るものと考えられる。

古く少雨地帯では、河水の確保には森林植生をある程度減少した方が良いとする意見と、森林を十分保持すべきだとする意見があったが、竜の口山の結果はこの対立する議論に多少の資料となる。すなわち、竜の口山では流出の少ない時期が冬期と盛夏期にあることを前に述べたが、伐採により冬期の流出水量は増加されるが、逆に一般に水需要の多い盛夏期の流出水量は、伐採により減少することとなり、このような点からみると従来の両意見はいずれも一面的なとらえ方にたったものであったこととなる。

もちろんこのことは、岡山地方のようにある時期の流出量をすべて溜池に貯留する水利用のタイプについていえることで、水利用が低水流出量あるいは渇水流出量によって支配されるタイプについては、上述のことはいえない。低水・渇水流出量は時期を問わず、伐採により増加することは前述のとおりだからである。

竜の口山にみられたような事実は上川の夏期についても言える。すなわち、ここでも7～8月の流出量は減少傾向がみられ、ことに8月の流出量は伐採後明らかに減少している。釜淵ではこのような傾向を明らかに指摘できないが、やはり気象条件によっては、8月の増加量が、前後の7月・9月のそれより小さくなり、あるいは減少になる場合もありうるということが指摘できよう。釜淵が竜の口山や上川と異なるのは、夏期における雨量の違いにあることが考えられる。すなわち、釜淵では夏期に限れば他の2流域に比べて倍以上の降雨がひんぱんに降るためと考えられる。

竜の口山—南谷の結果から、山火の影響についてとくに顕著な事実を指摘できそうもない。変化量の変動がはげしいためである。

(ii) 択伐・溪岸林分伐採の影響

詳細な議論はできないが、宝川の結果から融雪期後半にあたる月の流出量が減少し、前半にあたる月のそれが増加する傾向は、皆伐の影響と同様であることがほぼ指摘できよう。このことは季節流出量の変化量についてすでに指摘したとおりで、当然であろう。

溪岸林分伐採の影響については、竜の口山—北谷・上川の結果から顕著な事実を指摘することはほとんどできない。

(iii) 伐跡地への樹草再生の影響

上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap の結果から、次のことがほぼ指摘できよう。

伐跡地における樹草の再生・発達とともに、夏期間の各月流出量の増加量、また積雪流域では融雪期前半にあたる各月の増加量、後半の各月の減少量のいずれもしだいに小さくなる傾向がある。

このことは Fernow 試験でもほぼ認められていることと一致し、また前述の年流出量・季節流出量の結果からも当然のことと言えよう。

(iv) 伐跡地への階段工築設の影響

釜淵の結果から、融雪期前半にあたる月の流出量の増加と後半にあたる月のその減少が、皆伐の影響と同様に明らかに認められる。また盛夏期にあたる 8 月・9 月の流出量が明らかに増加することも指摘できよう。

VI-3-4. 流出量変化の季節分布

森林伐採等による流出量の変化の時期的分配の関係を整理して考えておくことは、森林処理による流出量変化の理由を考えるため、また河水資源確保と森林取扱いの関係を知らるために必要であろう。

(a) 伐採による変化の季節分布

(i) 夏期・冬期の比較

皆伐あるいは択伐後、樹草の再生が許された数年間、いいかえれば成熟林を伐採し、低木をまじえた草地に転換した数年間（上川：処理期間の全年、釜淵：皆伐年と下刈期、竜の口山—南谷：皆伐年と皆伐後放置期、竜の口山—北谷：皆伐年と放置前半期、宝川：処理期間の全年、Wagon Wheel Gap：処理期間の全年）で、夏期流出量・冬期流出量のそれぞれの平均の増加量・増加率を比較してみる。

上川・Wagon Wheel Gap では夏期・冬期とも増加であるが、年流出量の平均増加量のそれぞれおよそ 72, 91% は冬期に現われ、夏期のそれより多い。冬期流出量の平均増加率は夏期流出量のその、上川では 1.8 倍、Wagon Wheel Gap では 2 倍であり、また冬期流出率の平均増加は夏期流出率のその、上川では 3 倍、Wagon Wheel Gap では 4.6 倍である。

要するに、両流域では森林皆伐により夏期流出量よりも冬期流出量で増加が大きい。このことは Coweeta の No. 13, No. 17 でも同様のよう¹¹⁶⁾で、これらの流域はいわば冬増加型流域とも言えよう。

これに対して竜の口山—南谷および北谷では、やはり夏期・冬期両流出量とも皆伐後増加するが、年流出量の平均増加量のそれぞれ約 67, 79% が夏期に起こり、冬期よりも多い。しかし冬期流出量の平均増加率は南谷 1.9 倍、北谷 1.2 倍で夏期より冬期の方が大きい。そして流出率の平均増加も傾向は同じである。

Fernow の No. 1, No. 2 でも増加量についてはそれぞれおよそ 62, 79% で冬期より夏期の方が多い。しかし、平均増加率については竜の口山と逆で、夏期が大きくて冬期の 14.3 倍、13.5 倍であり、流出率の平均増加についても傾向は同じとみられる。

釜淵・宝川では冬期は減少となる年があり、少なくとも増加量は小さく、主として夏期に増加する。増加率・流出率の平均増加も同じ傾向で、Fernow と同種である。

これらのほか HIBBERT³⁶⁾によれば、San Dimas-Monroe Canyon, Coweeta の No. 1, No. 19, No. 22 でも増加量については冬期より夏期に大きいことが認められている。

これらは増加量が冬期より夏期に大きい点で、上川・Wagon Wheel Gap と異なり、いわば夏増加型流域とも言えよう。

以上のことは、前述のとおり数年間の平均でみたが、当然のことながら個々の年をとっても傾向はほとんど同様である。

(ii) 夏期間内での分布

上川では 9 月・10 月は増加、とくに 9 月は確実に増加であり、6～8 月は増加と減少がともに起こり、

とくに8月は減少が多く起こる可能性がある。

釜淵もほぼ同様で、9月・10月は増加で、6～8月には減少も時に起こり、とくに8月では減少がしばしば起こる可能性が認められる。

竜の口山では春先の4～5月は確実に増加であるというが、6月・8～10月は減少もかなり起こり、とくに8～9月は一般に減少するといってもさしつかえないほどである。ついで6月も一般に減少する（少なくとも増加する年の方が少ない）といってもさしつかえなからう。これと類似して Fernow でも春先の2月・3月は確実に増加で、4月は一般的に減少するといってもよいようである。

宝川では6月は減少する場合が多いが、7～10月は増加するとはほ言えよう。しかし9～10月には時に減少する場合がある。

Wagon Wheel Gap では夏期間のすべての月で同等に増加する。

以上から、いずれの流域でも伐採により夏期の総流出量は増加するが、これを月別にみると、宝川・Wagon Wheel Gap 以外の流域では、盛夏期あるいは春の日射量が多くて気温が高い月にはかえって減少となり、それ以外の月、ことに晩夏に大きな増加となり、夏期間の総計では増加になると言えよう。盛夏期月の減少の理由については、後述の増水量の変化によって説明できるかも知れない。

しかしながら、宝川・Wagon Wheel Gap では必ずしも明確にこのように言えない。この理由は次のように説明できるかも知れない。すなわち Wagon Wheel Gap では、元来夏期流出量の増加量が小さいためにはっきりしないということもあるが、海拔高がきわめて高いことなどから、盛夏期にも日射量・気温の値が上川・釜淵・竜の口山に比べて小さいことに関係があるかも知れない。また、宝川では森林処理の量が少ない（択伐）ことなどに関係づけられるかも知れない。このことも後の項でふれる。

増加率・流出率の増加も傾向はほぼ同様である。

(iii) 冬期間内での分布

上川では積雪期の全部の月と融雪期の前半にあたる4月に増加があるが、とくに4月の増加は確実にきわめて大きい。そして融雪期の後半にあたる5月には、減少することがほぼ確実である。

釜淵でも傾向は同じで、積雪期と融雪期の前半にあたる3月に増加が一般的であり、とくに2月・3月の増加は大きいのが通例であり、融雪期後期の4～5月、ことに4月ではほぼ確実である。

Wagon Wheel Gap でも前2者と傾向はまったく同じで、積雪期の全部の月に増加が起こり、融雪期の前半にあたる4～5月には確実に大きな増加が起こり、6月には確実に減少する。

宝川では林木処理量が少ないことなどのため、指摘できるような簡単な傾向が認められなかった。

以上から、積雪流域では皆伐により積雪期の各月流出量が増加し、さらに融雪期前期にあたる月の流出量は大きく増加し、後期のそれは大きく減少する傾向が明らかにあると言えよう。

積雪のない竜の口山では冬の終わりから春先に向かって、すなわち1月から2月・3月にかけて順次増加量が大きくなる傾向があるが、このことは Fernow の皆伐、択伐のいずれの試験結果でも12月から1月・2月にかけて順次増加量が大きくなる傾向がみられるのと同じである。

これから積雪のない地方における森林伐採による冬の月流出量の増加量は初冬に小さく、晩冬から春先の月にかけて順次大きくなると言えるかも知れない。

以上、流出量の変化量の季節分布について述べたが、増加率・流出率の増加についても傾向は当然なが

らほぼ同様である。

(b) 伐跡地への階段工築設による変化の季節分布

釜淵における階段工築設期間では年流出量の平均増加量の60%は冬期流出量の増加量が占め、夏期のそれより大きい。このことは皆伐後においてむしろ夏期の方が冬期よりも増加量が明らかに大きかったことと異なる。

夏期流出量の増加量は6月から10月に向かって8月を除けば順次大きくなり、10月に最大となる傾向がみられる。8月には前後の7月・9月に比べて小さい増加の年が多い。しかし、皆伐跡地におけるような減少になる年はなかったことが注目される。

冬期流出量の増加量は初冬の月の最小から逐次大きくなって晩冬・春先の月に至り、融雪前期の3月に最大となり、融雪後期の4月および5月の減少が明らかにみられる。これらのことは皆伐跡地における場合とまったく同様である。

増加率・流出率の増加についても傾向はまったく同様であった。

(c) 変化量の季節分布が流域により異なる理由

この理由を明らかにすることは簡単ではない。しかし、前述の冬増加型・夏増加型のそれぞれに属する流域の相対的特徴をあげることが、理由を考えるための助けとなろう。

冬増加型に属する上川・Wagon Wheel Gap・Coweeta-13, 17 はもともと冬期の降水量・流出量・流出率が夏期のそれより大きいところであり、針葉樹と落葉広葉樹の混交林が皆伐され、土壌の比較的深い、そして秋期の土壌水分リチャージの多い、夏期に気温の比較的低い、比較的面積の大きい北西向流域である。

これに対して、夏増加型に属する各流域には対照的な特徴を持つものが多い。すなわち、Fernow-1, 2 は落葉広葉樹だけの森林をもち、土壌の浅い³⁵⁾⁹⁴⁾、面積の小さい、南東向流域である。釜淵-2 号沢も土壌の浅い、盛夏期に気温の比較的高い、南東向の小流域であり、また宝川-1 初沢は数年にわたる択伐が行なわれた、盛夏期に気温の比較的高い、南西向流域である。Coweeta-1 は南向流域であり、Coweeta-22, 19 は弱度の部分伐採が行なわれた流域である。San Dimas-Monroe Canyon も弱度の溪岸木伐採が行なわれた南向流域である。これらの各流域は、冬期の降水量・流出量・流出率が夏期のそれらより大きいということは、上川・Wagon Wheel Gap などと同じであるが、以上述べた点で相違が認められる。

夏増加型流域のうちでも竜の口山の2流域は、もともと夏期の降水量・流出量・流出率が冬期のそれより著しく大きい流域である。ここでは冬期流出量が非常に小さいから、絶対値でわずかな変化も比率には大きく影響するため、増加率・流出率の増加については冬期の方が夏期より大きくなっている。

一方、つぎのことが考えられる。

すなわち、流出量が森林処理により増加あるいは減少するのは、森林が水を消費するか、あるいはほかの原因で減少するのを、森林が抑制するためであることは明らかである。また、このような消費あるいは抑制がある時点で起こるとしても、本来その流域の個性としてその時点の流域中の一地点の水が流域の出口に出るまでに要する時間は、流域ごとに異なっている。変化量の季節分布が流域によって異なってくる根本の理由は、この2つのことに関係すると考えられる。

降水が流域出口の流出となるまでに要する時間は、雨水・融雪水の地表における移動速度と地層中における移動速度でさまるが、変化の季節分布に関連して前者でとくに重要なものは降雪地方においては積雪による雪水の地表停滞であり、後者では土層中の水の移動の遅速であろう。また1地点での変化量の大小

は、気象条件と森林が同じならば、森林の処理量でまきまはるはずである。

以上のことを考慮して各流域の変化量の季節分布をみると、各流域の特徴との関係で、つぎのことが言えよう。

Wagon Wheel Gap では年降水量中に占める雪の割合がきわめて大きく、約70%を占める。したがって、森林処理の影響が現われるとすれば雪の貯留と融解、結局は冬期流出量に顕著であろうことは当然考えられる。

面積が小さく、しかも一時保水性（土壌深と透水性）の点で土壌条件の悪い流域で伐採により森林の水消費が抑制されたときは、その影響はすぐに流出に現われると考えられ、Fernow・竜の口山のように夏期の増加の大きい流域がこの例であろう。これらの流域は冬期よりも夏期に降水が多い流域でもある。

これに対して土壌の深い、Coweeta-13, 17 では晩夏における雨水による土壌水分リチャージが多く、これが秋から冬にかけてかなりの流出となる個性を元来持つため、いきおい森林処理の影響が秋期あるいは冬季にも相当現われるものと考えられる。

しかし、同じく土壌の深い Coweeta でも No. 1 流域では冬期よりも夏期に大きな増加が起こるが、この流域が No. 13, 17 と違うことは南面流域であるということである。

さらに Coweeta-19, 22 では土壌条件は No. 13, 17 と同じであるにもかかわらず変化の季節分布がこれらと異なる。これは森林伐採量がきわめて少ないということに理由があるかも知れない³⁴⁾。

そして、上川の年間変化量が夏期よりも冬期に多少大きいことは、年間降水量中に占める雪の割合がかなりあることと、土壌もかなり深いこととの総合的效果からくるものかも知れない。

これらの十分な説明はこんどの研究課題であろう。

積雪流域では、森林伐採により必ず融雪期前期の流出量が増加し、後期のそれが減少するが、すでに述べたようにこれは主として森林被覆の除去による融雪促進のためであることは明らかである。

年間を通じて植生の生育活動がある地域で、処理の影響が大きいときは、変化は年間に一様に分布するようである。Kenya 試験では竹林の伐採により流出量の年間分布は変化しなかった³⁵⁾という。

以上から森林処理による流出量の変化の季節分布は、森林の種類・森林の処理の程度・雪の有無・降水量の年間分布などの気象条件・土壌・地形・方位・地質などの流域地文条件など、種々の条件によって支配される。したがって森林とその処理条件がほぼ同じならば地域によって分布の型がきまることが考えられる。こんどの研究課題であろう。

VI-3-5. 低水流量

平水・低水・渇水各流出量についての解析の結果と、既往の試験結果を総合すると以下述べる可以说えよう。

(a) 全林木除去の影響

(i) 皆伐

ずり出し道と車道の築設をともなった皆伐あるいはほとんど皆伐に近い森林除去が行なわれ、林地が低木をまじえた草地に転換されたとき、平水・低水・渇水各流出量およびこれらの流出率が増加する傾向は上川・釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap で明らかに認められた。

このことは、検討の方法は異なるが、Fernow 試験の結果や Coweeta 試験の資料による JOHNSON らの結果と一致する。遠藤らも上川試験の報告の中でこのような傾向を示唆した。

これらの事実から、一般的に低水流量が伐採後増加すると言ってよからう。

しかしながら他の試験、すなわち基準流域法でなく、しかも伐採試験でなく、優良な森林と劣悪な森林をそれぞれ持つ流域の間の比較試験ではこれと相反するような結果が得られているが、これらは根本的に試験方法に問題があろう。

また減水曲線の検討で得られた玉手や丸山らの報告でも、上述のことと相反するような方向の結果を得ているが、これも丸山ら⁶⁹⁾が指摘しているように蒸発散の影響が大きくなった時期の減水、すなわちさらに厳密な低水流量の際のそれをとって検討すると結果が異なってくるかも知れない。JOHNSON らは厳密な意味での低水流量を示す減水資料によって検討し、伐採後減水勾配はゆるやかになったことを明らかにしている。

増加量は同一流域でも処理された森林の種類・処理の程度によって異なると同時に、低水流量の起こったときの気象条件によっても異なる。起こったときが積雪期・降雪期にあるところでは最高気温の高いほど大きいことが上川・Wagon Wheel Gap の低水・渾水両流出量の例から推定でき、年間を通じて発生するところでは降水量が多く、蒸発量が少なかったときほど大きいことが釜淵・竜の口山の低水・渾水両流出量の例から推量できる。

以上から、皆伐して低木をまじえた草地に転換されることにより低水流量は明らかに増加するが、その増加量は森林の種類・伐採程度で基本的に異なり、さらに降水量・最高気温などの関連によってきまるといえよう。しかし、低水流量の表現法が多様なため、多くの試験成果を一般的に比較することはほとんどできない。

(ii) 山 火

竜の口山—南谷における再生樹草の焼失により、平水・低水・渾水各流出量が増加したことは北谷との比較で明らかに認められた。

この結果は成林の焼失によるものではなくこれについてはこんごの検討にまっはかなからう。

(b) 一部林木除去の影響

(i) 択 伐

宝川試験については渾水・低水・平水各流出量についての解析ができなかったが、前述の H.J. Andrews 試験の例から、ある程度以上の割合で択伐されたときは皆伐の場合と同様に低水流量が増加し、かつ伐採量（伐採率）が大きくなると増加量も大きくなり、皆伐に近づくことが推定される。

(ii) 溪岸林分伐採

竜の口山—北谷では再生溪岸林分の伐採により、平水流出量はほぼ増加したといえようが、低水・渾水両流出量については無変化、あるいは減少方向とさえみられる。

前述の Sierra Ancha-North Fork で面積で 1% および 32% にあたる溪岸林分の伐採が行なわれ、後者で年流出量の増加が認められたが、この増加には低水流量の部分での増加も含まれているように推定され、また San Dimas-Monroe Canyon における面積で 1.7% および 2.6% の溪岸林分伐採で、夏季乾燥期の流量が増加したと認められている。

これらを総合すると、溪岸林分伐採によって低水流量が増加するものとはほぼ考えられる。この伐採も前項の択伐の一種にすぎず、択伐で増加するとすればこの伐採でも増加すると考えるのが当然であろう。ただ伐採量（伐採率）が小さいとき、あるいは溪岸の地文条件が特殊なときは増加量が小さく、見掛け上は

とんど無変化に近いことが当然あり得よう。

(iii) 下木伐採

この報告で直接に扱ってはいないが、前述の Coweeta-19 では下木除去により減水レートは緩和され、秋の低水流出期間の流出量が増加したとされており、下木の種類や量などによっては当然影響があることが考えられる。

(c) 林木生育の影響

(i) 伐跡地への樹草の再生

皆伐後伐跡地に樹草が再生し、発達するにつれて、平水・低水・渇水各流出量の増加量が小さくなり、しだいに皆伐前の状態すなわち無変化に近づくことが竜の口山—北谷・Wagon Wheel Gap で明らかに認められる。上川の平水流出量でも同様な傾向がうかがわれる（上川の低水・渇水両流出量はほとんど積雪期に起こるため影響が現れないことは前述した）。

このことは Fernow 試験・Coweeta 試験でも明らかに認められている。

再生樹草の発達につれて増加量が小さくなっていくとすれば、再生樹草を抑制すれば増加量は維持されるはずである。もちろん、気象条件による変動はある。このことは釜淵・竜の口山—南谷で下刈りや火入れが行なわれた期間の結果に多少示されている。

以上から伐採による低水流量の増加量は伐跡地に樹草が再生し、発達するにつれて小さくなり、しだいに伐採前の状態に復旧していくことが認められよう。復旧する速さは森林の種類・処理量・再生樹草の種類などによって異なり、一般的にいえないが、竜の口山—北谷では10年くらい、Coweeta-13 では15年くらいでほぼ旧に復したと言ってさしつかえなからう。

(ii) 林木の植栽

竜の口山—南谷では植栽が必ずしも成功しておらず、影響期間が短期で、かつ気象条件の影響が強く、明りょうな結果は得られなかったが、前述の Coshocton 試験の結果では植栽後15年くらいで低水流量の減少が確かめられている。伐採による増加を裏付けている。

(d) 伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で伐跡地へ階段工が築設されて後、平水・低水・渇水各流出量が増加したことが明らかである。こんごの追加試験が必要であるが、いちおう階段工の築設による低水流量の増加が認められよう。

増加量については気象条件による変動もあり、こんごの研究にまたなければ一般的に述べることはできない。

VI-3-6. 高水流量

(i) 皆伐の影響

釜淵・竜の口山で針広混交林、またはアカマツ壮齡林の皆伐、あるいは皆伐に近い伐採により増水量・増水ピーク流量が増加する場合があることが認められた。

このことは、異なった樹種・地況・その他の諸条件下で行なわれた太田・Wagon Wheel Gap・Coweeta・Fernow・Santa Anita・Harz 山地の各試験 または 調査結果や Fraser の強度択伐試験の結果と同じである。また丸山ら、高橋、白井らによる釜淵・竜の口山試験の既往報告や KITTREDGE の著書の記述とも一致する。

これから一般的に皆伐のような重度の森林除去が洪水流量を増加するといって異論なからう。

このことは相当の面積率で林木を植栽し、森林を生立させることにより洪水流量が減少することを明らかにした Pine Tree Branch 試験や White Hollow 試験の結果で裏付けられる。

しかし一方、ある条件下では皆伐後増水量・増水ピーク流量が減少する場合があることも竜の口山・釜淵で明らかに認められた。

しかしながら、従来、雪水流出でない場合について、このことを明らかに指摘した研究成果は無い。雪水流出については REINHART らが Fernow 試験で減少が起こったことを報告しており、Fraser 試験でもある条件下で減少が起こったことが報告されている。

ともかく、雪水でない流出で増水量・増水ピーク流量が皆伐後減少する場合があることもまた重要な事実であろう。

なお増加量・減少量がきわめて小さいときは結果的にほとんど無変化となる。

ただ Coweeta の No. 13, No. 17 で林木伐倒後増水量に変化が起こらなかったと報告されているのは、つぎの点で注意を要する。すなわち、両流域では全林木が伐倒されたが、まったく林外に搬出されないでかえって伐倒植物体が地表面に被覆されたため地表の裸出と攪乱は起こらず、地被はかえって密になったとみられる。このことと関連があるかもしれないからである。

また、遠藤らが上川試験で変化が認められなかったと報告したのは上川—南谷の択伐試験についてであって、Fernow の択伐流域の結果と同じで、ある限度以下の択伐量では変化を生じないということとみてさしつかえなからう。H. J. Andrews 試験できわめて小さな団地状伐採はピーク流量に変化を与えなかったと報告されており、また中野ら、野口、ANDERSON らによる多数の流域変数と洪水流量との関係の調査の結果とも符合しよう。

ともかく、森林をある限度以上伐採除去すると、増水量・増水ピーク流量はほとんどの場合変化し、増加あるいは減少する。伐跡地の植被条件がほぼ同一の場合、増加あるいは減少にわかれる理由は主として出水直前すなわち初期の流域乾湿条件と降水条件にある。

皆伐跡流域がある限度以上に湿潤なときの降雨による増水量・増水ピーク流量はほぼ確実に増加し、増加量は一連続雨量または降雨強度とともにほぼ直線的に大きくなる。

この限界以下に流域が乾いていたときの降雨による増水量・増水ピーク流量は、一連続雨量または降雨強度のある限界（第 1 限界雨量または降雨強度）まで、これらとともにほぼ直線的にある限度まで減少し、その後雨量または強度とともに減少量が小さくなり、ある限界一連続雨量または降雨強度（第 2 限界雨量または降雨強度）を越すと増加となり、増加量はやはり一連続雨量または降雨強度とともにほぼ直線的に大きくなる。

皆伐跡流域の初期乾湿程度によって、上記の限界雨量または降雨強度・減少量の限界が異なり、湿潤なほど両限界値が小さく、乾燥しているほど大きい。

この試験の範囲では以上のことがいえる。もちろん、実際には上述の諸関係はばらつきが大きい、これは上記因子以外にも影響があることが考えられるので当然であろう。

なお試験の範囲で、増水量の変化に関する上述の諸限界値はつぎのようになる。

第 1 限界雨量の最大値（皆伐跡流域が非常に乾燥していたとき一初期水位がそれぞれ 2.0, 3.5cm 以下の第 1 限界雨量）

釜淵—2 号 沢：75mm

竜の口山—北 谷：100mm

減少量の最大限度

釜 淵—2 号 沢：33mm

竜の口山—北 谷：35mm

第2限界雨量の最大値（皆伐跡流域の初期乾湿条件にかかわらず増加が起こる第2限界雨量）

釜 淵—2 号 沢：223mm

竜の口山—北 谷：207mm

そして初期水位が釜淵で 5.01cm、竜の口山で 8.6cm 以上では減少が起こらなかった。

同じく増水ピーク流量の変化に関する前述の諸限界値は次のようである。

第1限界最大1時間雨量の最大値（皆伐跡流域が非常に乾燥していたとき—初期水位がそれぞれ 2.0, 3.5cm 以下—の限界降雨強度）

釜 淵—2 号 沢：19 mm/hr

竜の口山—北 谷：14 mm/hr

減少量の最大限度

釜 淵—2 号 沢：38 l/s

竜の口山—北 谷：250 l/s

第2限界最大1時間雨量（皆伐跡流域の初期乾湿条件にかかわらず増加が起こる限界降雨強度）

釜 淵—2 号 沢：26mm/hr

竜の口山—北 谷：42mm/hr

そして初期水位が釜淵で5.78cm、竜の口山で18.7cmまでも減少が起こっており、かなり湿潤な場合でもピーク流量は減少することがありうることとなる。

(ii) 皆伐による増水量の増加の目安

玉手の太田試験の報告中にある数値からすれば、皆伐後増水量は一連続雨量の全階級についての平均で1.48倍に増加したことになり、高橋の釜淵試験の報告中にある数値からすれば、前同様にして平均1.15倍に増加したことになる。また白井らの竜の口山試験のそれからすれば、前同様にして、北谷では1.96倍、南谷では1.66倍に増加したことになる。さらに Fernow 試験では前同様にして植物生育期では1.24倍、休眠期では1.12倍と報告されている。これらの値は1.12～1.96倍の範囲である。

以上に対してこの報告では、増加率は一連続雨量に対して双曲線状の曲線関係にあることを明らかにしており、平均で一概に示すことは多少問題があるが、しいて前記と同種の数値を計算すると、一連続雨量の全階級についての平均で、釜淵で1.58倍、竜の口山—北谷で2.03倍となり、数値を求める方法は異なるが、やはり上述の範囲内にはほぼおさまることがわかる。また前掲の実験式から 100mm 以上の一連続雨量ではほぼ一定で、釜淵で1.30倍、竜の口山—北谷で1.65倍となる。

以上から、従来の各試験では皆伐により、降雨による増水量は平均で1.12～2.03倍の範囲で増加したこととなる。ただし融雪水流出については、ここではふれていない。

しかし増加量は、前述のとおり、皆伐跡流域の初期乾湿条件・降雨の態様などに強く支配されるので、当然変動は大きい。したがって、増加率も変動が大きいから個々の出水をとればきわめて大きな場合があり、とくに小雨量階級では釜淵で 6.5 倍、竜の口山—北谷では17倍といった場合もみられた。もちろん誤

差が大きい、それにしてもきわめて大きな倍率である。

各一連続雨量階級中の最大増加率をとり、その全階級平均値をみると、釜淵で2.02倍、竜の口山—北谷で3.45倍となる。高橋の資料からも大きいものは1.27倍となり、丸山も数例の大出水の平均として1.28倍と報告している。白井らの資料によれば大きいものは竜の口山—北谷で2.95倍、南谷で3.41倍の例もある。Fernow 試験でも、上述の平均値にもかかわらず、1 出水について大きいものは生育期に1.69倍、休眠期には1.39倍という例がある。

なお皆伐跡地において、耕作や放牧で裸地化が行なわれたときは Coweeta-3 の結果で、大出水時の平均値でも4.23倍、また山火で裸地化が行なわれたときは Santa Anita 調査の結果で約17倍に達する大きな増加が報告されており、注意を要する。

また Pine Tree Branch 試験で、造林により0.11~0.48倍に減少したと報告されていることは、定性的にはもちろん定量的にも上記皆伐の影響を裏書きしている。

(iii) 皆伐による増水量の減少の目安

Fernow 試験では、植物休眠期に平均で0.95倍に減少したと報告している。

この報告では、前述のとおり、減少率は一連続雨量に対して双曲線状の曲線関係にあることを明らかにしており、単純な平均で一概に示すことは必ずしも妥当ではないが、おおざっぱな目安をうるため、全雨量階級の単純平均をみると、釜淵で0.75倍、竜の口山—北谷で0.49倍に減少したこととなる。

皆伐跡流域の初期乾湿条件・降雨の態様などで当然大きく変動し、小雨量階級では釜淵で0.12倍、竜の口山—北谷で0.01倍にまで減少することもありうることとなり、各雨量階級の最大減少率の平均では釜淵0.56倍、竜の口山—北谷0.10倍に減少することがありうることになる。

(iv) 皆伐による増水ピーク流量の増加の目安

高橋の資料からすれば、増水量の場合と同様にして、釜淵では皆伐後平均1.05倍となり、白井らの資料からすれば竜の口山—北谷で1.17倍、南谷で1.08倍となった。Fernow 試験では植物生育期に1.25倍、休眠期1.14倍と増加した。これらの値は1.05~1.25倍の範囲である。

同種の値をこの報告について求めると、釜淵で1.62倍、竜の口山—北谷1.91倍となり、既往結果よりかなり大きい。また前掲の実験式から、100mm 以上の一連続雨量のときの増加率は平均的にはかなり定常となり、釜淵で1.35倍と竜の口山で1.70倍となる。KITTRIDGE は皆伐により一般に1.20~1.40倍に増加すると述べているが、これよりも大きい。この報告では小さい一連続雨量階級についても扱っており、このため倍率が大きくなることが考えられる。

ともかく、降雨による増水ピーク流量は、皆伐により平均で1.05~1.91倍の範囲で増加することがありうることとなる。

個々の出水について増加倍率は初期流域乾湿条件などで大きく変動するため、きわめて大きいものが生ずる可能性があり、この報告で扱った資料では一連続雨量の小さい階級では釜淵で7倍、竜の口山—北谷で15倍などの例もみられた。

各一連続雨量階級中の最大増加率をとり、その全階級平均値をみると、釜淵2.74倍、竜の口山—北谷3.31倍となる。高橋の資料からも大きいものは1.38倍に達し、丸山らは数例の大出水の平均として1.23倍をあげている。白井らの資料でも大きいものには竜の口山—北谷で2.18倍、南谷で2.00倍の例があった。Fernow 試験では生育期には2.61倍、休眠期には1.82倍という大きい例がある。

White Hollow 試験で造林の結果、夏の増水ピーク流量は0.05～0.27倍に減少し、冬のそれは0.72～1.00倍になったと報告されていることは定性的にはもちろん定量的にも上述の皆伐の影響を裏付けている。

なおここでは、融雪出水のピーク流量については扱っていないが、HIBBERT は、BATES らの資料から計算し、Wagon Wheel Gap で1.5倍になったことになると報告し、Fraser 試験では40%択伐で最大1.3倍になったと報告されている。これらが一つの目安となろう。

（v）皆伐による増水ピーク流量の減少の目安

Fernow 試験では生育期に0.99倍に減少した一例がみられ、休眠期では平均で0.86倍に減少したと報告されている。

増加の場合と同様、減少率は一連続雨量に対して双曲線状の曲線関係にあることが明らかであるので、単純に平均値を求めることは必ずしも妥当ではないが、おおざっぱな目安をうるため、全雨量階級についての平均を求めると、釜淵で0.65倍、竜の口山—北谷で0.47倍となり、平均的にはこのような減少が起こるということになる。

もちろん、皆伐跡流域の初期乾湿条件・降雨などで大きく変動し、小雨量階級では釜淵で0.08倍、竜の口山—北谷で0.02倍にまで減少したことになり、各雨量階級の最大減少率の平均では釜淵で0.45倍、竜の口山—北谷で0.18倍に減少したことになる。

（vi）伐跡地への樹草再生の影響

増水量・増水ピーク流量の増加量、または減少量の変化と樹草の再生・発達との関係については明らかにできなかった。

VI-3-7. 流出量変化の理由

山地流域における水循環の過程で、森林がこれに影響する個々の現象の定性的内定はほぼ明らかである。すなわち、霧滴の補そくなどによる降水量の増加、植物体・落葉落枝による降水の一時的保留と遮断、落葉落枝・地表植生および樹幹基部による地表流出の阻害と浸透の機会の増加、有機物の供給による土壌中小動物の生活活動と、根系の存在による土壌浸透能ならびに一時保水能の改善、蒸散による水の消費、林冠被覆による地面蒸発の抑制、林冠被覆による融雪の抑制、積雪の仕方の変化である。

これらのことと前各項に述べた各流出量の変化、その変化と気象条件との関係をあわせ考えることによって、変化の理由を推定する。

ある流域からの年内・季節期間内・月内の総流出量は降雨ごとの直接流出分と降雨停止後無降雨期間内の流出を主とする基底流出分の総計である。そして、直接流出分が大部を占めることも明らかである。とにかくこの両者が変化する理由を明らかにできれば、これらの変化の合計の形として月・季節・年流出量の変化は説明できることとなる。

（a）増水量が変化する理由

ここにいう増水量はいわば直接流出量で、その主体は表面流出量のうちの地表流出量であるといっておくであろう。したがって、森林伐採がこれに影響するとすれば、遮断・地表流出の阻害・浸透への関与・蒸散減少による土壌水分の変化・融雪への関与などを通じての影響が考えられよう。

（i）伐採により流域条件中に起こる明白な事実の1つは林冠の消滅もしくは減少である。

このことが遮断の減少をとまなうことは明らかで、これが増水量の増加の原因となることは確かである。遮断量は、武田¹²⁸⁾により理論的に計算され、しかも結果はよく実測値と合うことが明らかにされている。

るが、それによると、たとえば群馬県下のある土地のスギでは微雨の場合60%にも達するが、降雨強度数十mm/hr で 50~400mm くらいの一連続降雨については雨量の 5~3 %程度となり、アメリカ西部のある土地のマツでは微雨の場合やはり60%くらい、ほぼ前記同様の強度の50mm くらいの一連続降雨ではほぼ30%となる。けっきょく通常の強度では10~15%と推定される⁷⁶⁾。

しかし、日本の多くの地域では皆伐跡地にただちにかなりの草や低木類が発達し、その遮断作用が増して林冠の遮断作用の消滅または減少を補なってしまうため、遮断の減少を道じての伐採の影響は伐採後短時日のうちに減少されることとなろう。

ただし雪の場合は、遮断の影響がかなり大きいとする意見もあるが⁶⁸⁾、いまだ十分明らかではない。

(ii) 伐採・搬出の作業にともなう林地地表の攪乱、すなわち落葉落枝の堆積を攪乱し、部分的にははく奪し、また表層土壌の圧密、すなわち土壌孔げきの閉塞が行なわれ、地表流出が容易になる水みちができることも伐採により流域条件中に起こるもう1つの顕著な事実であろう。

このような水みちができることによって浸透が減少し、地表流出量、したがって増水量が増加することが考えられる。このことは Coweeta-13・17 試験や Fernow 試験でも認められており、釜淵における高水流量の増加率が竜の口山のそれより小さいことの1つの理由も、前者が雪上での伐採・集材であったことにあると考えられる。

(iii) さらに森林伐採による林冠の除去もしくは減少にともなって地面蒸発の変化が考えられる。

皆伐後増水量は増加する場合もあるが、同時に減少する場合あるいはほとんど無変化に等しい場合もあり、これら3種の場合があることには流域の初期乾湿条件が強く関係していることはすでに述べた。また減少する場合は、7~9月の盛夏期にとくに多いことも先に述べた。さらに恒々の出水について詳細にみると、ある期間良い天気が続いた後に降雨があって出水した場合、すなわち少ない先行降雨の後の降雨による出水時に限って減少の場合が起きており、したがって竜の口山—北谷では春にも起こっている。このことから表層土壌が乾燥し、土湿不足のある場合、ことに不足が大きいときはこれを補うために雨水が消費され、流水にならず、けっきょく増水量の減少となるものと考えられる。

皆伐跡地では林冠による表面の遮へいがないから、林冠がある場合に比べて地表面からの蒸発は日射量・気温などの気象条件に強く左右されて変動が大きくなり、ある気象条件下で表層土壌が非常に乾き、土湿不足がきわめて大きくなることがありうる。このことは前述のように、玉手¹²⁶⁾、METZ⁶⁷⁾、塚木¹³³⁾の報告その他によっても明らかである。

もちろん、盛夏期でかなり先行降雨が少ないときでも増水量が皆伐後増加した場合も多い。このことはすでに述べたように、かなりの雨水が土湿不足の補充に消費されても雨量がある程度以上に多いときは前記(i)・(ii)などの理由によって伐採前より増水量が大きくなることが当然考えられる。

(iv) 林木の伐採・除去はその蒸散損失をなくするため、流域の土壌水分が多くなることは II-3-7 に述べたところから明らかである。またこのことは、増水量の解析に用いた初期水位の頻度分布を伐採前後で比較したところ、伐採後に明らかに高い水位階級に頻度が高かったことから認められよう。

土壌水分が多いこと、すなわち土壌水分不足が小さいときは、地表流出を生じ始める、野外保湿容量に復帰するに要する雨水量は少なくすむため、けっきょく降水量の多くの部分が流量になるから、増水量は伐採した方が多くなることはありうることである。

このことを裏返せば、高木はもちろん低木や草を十分に保持して、降雨前における土壌水分減少をそ

の土壌における最大限度に近づけておくことは、あたかも洪水調節ダムで豪雨前に放流して洪水の貯留能力を十分にもたせておくことに相当し、増水量を減少して、洪水緩和の機会をつくることになる。

Coweeta-13, 17 試験では樹木を伐倒したが、搬出はしなかった。伐倒作業も地表を荒らすことのないよう十分注意して行なわれた。その結果は、両流域試験では増水量に相当する高水流量にほとんど変化が起こらなかったという。上記 (i)・(ii)・(iii) に述べたような事実がほとんど起こらなかったことを意味すると考えられる。

REINHART⁹⁴⁾ らも Fernow 試験でずり出し道による局所的なもの以外は、林床のきびしい荒らしはなかったが、もし林床の荒らしが激しければ高水流量の変化はさらに大きかったものと推定している。諸条件が異なるから一概にはいえないが、Table 30 にみられるように、積雪上で伐採・搬出が行なわれた釜淵よりもずり出しが行なわれた竜の口山—北谷の方が増水量の増加率が大きかったことも増水量の変化によらず伐採・搬出の作業による林地地表の荒らしの影響を示しているものと考えられる。

なお、増水量が増加するとき増水ピーク流量が大きくなり、前者が減少するときピーク流量が小さくなることはほとんどの場合認められた。このことから増水量の変化と同じ理由によってピーク流量も変化するものと考えられよう。

(b) 低水流量が変化する理由

ここでいう低水流量は平水流出量・低水流出量・渴水流出量である。これら流出量は主として降雨が止んでしばらくたって以降の流出水量である。積雪地方では根雪期間の流出水量も主としてこれら流出量となっている。またこれら流出量のほとんどは、中間流出水量と地下水流出水量であると考えられる。

(i) 降雨後の低水流量の変化に伐採が影響するとすれば、主として蒸散による水消失の変化と地面蒸発による水消費の変化および林地浸透能の変化を通じてであろう。

伐採による植生量の減少が蒸散損失の減少となり、これが低水流量の増加をもたらす。一方、伐採・搬出作業にともなう林地浸透能の悪化は低水流量の減少方向に働くことも確かである。さらに林冠の被覆を失なって地面蒸発の量が増加することも、明らかに考えられる。このように相反する方向が考えられるにもかかわらず、なお明らかに低水流量が伐採後増加するのは、蒸散の減少の影響の方が相対的に大きいことによるものであろう。

このことは伐跡地への樹草の再生と、その発達にともなう植生量の増加とともに低水流量の増加量が明らかに漸減している事実、II-3-7 項で述べた土壌水分と植生の種類・量との関係の既往研究などからも十分考えられることである。また Coweeta-13, 17 における試験で、伐倒木を搬出しないで地面蒸発と浸透能の変化をできるだけ少なくし、蒸散損失だけを減らした試験結果でも明らかに低水流量が増加したことで裏付けられた。

(ii) 根雪期間の低水流量に伐採が影響するとすれば、主として融雪および雪遮断を通じてであろう。

伐採による林冠の除去は融雪を促進し、遮断を減少する。いずれも根雪期間の低水流量を増加する方向に働くことは明らかである。もちろん雪面蒸発の増加が考えられるが、相対的には前者の影響の方が大きいものと考えられる。

さらに森林除去による蒸散量の減少が晩夏期から秋期にかけての土壌水分リチャージを増加することが考えられ、これが根雪期間流出量の増加に寄与していることも推量される。

(c) 年・季節・月の総流出量が増加する理由

年間・季節間・月間内の総流出量は増水量と低水流量のほぼ合計である。

前述のように、増水量も低水流量もたいていの場合、林木除去により増加する。したがって、その合計量である年流出量・季節流出量・月流出量が増加するのは当然であろう。

しかしながら、皆伐後盛夏期等の月で、その流出量が減少する場合は先に述べた。前述のように日射が強く、気温が高い時期には増水量が伐採前に比べて減少することがあり、月流出量の大部分は増水量が占められているから、当然このような時期の月流出量は減少することとなる。

平田⁸⁷⁾は森林理水試験の初期時代に太田試験の結果から年流出量の増加は降水量の約12%であることが、樹冠遮断量の各樹種平均が9~17%程度のものであることと符合することなどから年流出量の増加は遮断量の減少であるとした。

しかし、その後の試験は前述のとおり遮断だけでは説明できないことを示した。

森林の蒸散作用が問題になることは前にも述べたが、Coweeta-13, 17 試験の結果をみるだけでも明らかである。両試験では伐倒木を搬出せず、地表を被覆させて放置した。これを水文現象からみると、蒸散だけに変化を与え、森林植生の遮断・地表流出阻害の作用は維持したということにはほぼなり、けっきょく蒸散の減少が流出量を明らかに増加した。また林木(針葉樹)を枯殺すれば、蒸散の減少は起こるが、遮断・地床条件など他の水文条件については林木が生立していたときの状態がほぼ維持されたこととなる。White River 調査での虫害による林木の枯死はこれに相当し、しかも年流出量が増加したことが認められている。この結果からも蒸散が問題になることは明らかである。

流域試験によって、森林植生の地表流出阻害の作用あるいは浸透能改善の作用だけを取り出して、流出量変化(増加)を裏付けようとした試験の例はいまだないようである。

年降水量の多少と年流出量の増加量の多少との間に関係があることは、蒸発散位の概念¹⁸⁴⁾で説明できよう。すなわち、降水や土壤水分貯留からの供給よりも蒸発散位がはるかに高いときは植生除去により蒸発散に一部減少があっても流出量の増加にはつながらない。供給が蒸発散位を越し、余剰水が流出できるとき蒸発散量を減少させることは流出量の増加につながるはずである。このことは HIBBERT が Coweeta 試験で南面流域よりも北面流域に伐採の影響が大きかったことを明らかにしたことによっても裏付けられる。

積雪地方で冬期流出量が伐採後増加する理由を、MARTINERLI⁶⁸⁾は伐開地への積雪の増加と遮断の減少としている。また SCHNEIDER ら¹⁰⁶⁾、ESHNER²⁴⁾は造林による休眠期流出量の減少は主として雪遮断の増加によるとしている。積雪地方での冬期流出量の増加は、やはり主として遮断の減少によるものと考えられる。

小野⁸⁹⁾らは釜淵で、処理期間の中期の1956年以降冬期(雪水流出期)流出量の増加量が、それ以前より大きくなったとし、その理由は流域外周辺地区の林木の伐採除去により降雪の吹き込みが起これ、このため試験流域内の積雪量が増加するようになったことのためであるとした。このことは MARTINERLI も述べているように、正しいと考えられる。

小野らは1号沢の冬期流出量に対する2号沢のその比を、1948~1966年の各冬期にとり、一方流域外周辺地区の伐採期間とそれ以外の期間に分けて比の平均値をとって比較し、周辺地区伐採以降比が大きくなったことを根拠として、降雪の吹き込みがあったことを認めている。しかし、周辺地区伐採期に無関係にこの経年傾向をみると、まったく別のくぎりでこの平均値の大きさが変わることが知られる。しかもこれらのくぎりは、この報告でいう皆伐年・下刈期・火入期・階段工期に相当する。ことに階段工期の平均

値については、それ以前の比との違いが顕著である。このように各処理分期と比の経年変化傾向が符合することからすれば、単に周辺地区伐採の影響、したがって降雪の吹き込みだけで冬期流出量の増加量が大きくなったとするのではなく、植被の変化や階段工築設の影響、とくに後者の影響をあわせて考える必要があらう。

ともかく、森林地域の一部での伐採により、伐跡地の降雪・積雪のあり方に影響があることは十分考えられる。

冬期流出量、ことに積雪期流出量の増加に、森林伐採による夏期における蒸散の減少、したがって晩夏期・秋期における土壤水分リチャージが関係することは先に述べた。

融雪期の前期にあたる月の流出量が増加し、後期にあたる月の流出量が減少することは降雪流域に共通で、確実なことといえようが、これは林冠被覆の除去により融雪時期がはやくなるためであることは明らかである。しかも前述のように、遮断損失が減少することによる増加が加わって融雪前期の大きな増加になるものと考えてよからう。

VI-3-8. 年間流出の一様性

(i) 全林木除去の影響

各日流出量の年流出量内における分散の程度を一様性の表わし方として、これを標準偏差あるいは偏異係数などで表現するときは、皆伐により一様性は低下するといつてはよいようである。

しかし、豊水率・平水率・低水率・渇水率の年間分配で表わす一様性については、皆伐あるいはほとんど皆伐に近い森林除去が完了したとき、多くの流域では豊水率が小さくなり、低水率・渇水率が大きくなって、この意味で一様性は向上した。

前述のように、豊水・平水・低水・渇水各流出量とも増加したが、後の3種流出量すなわち低水流出量の増加の方が割合として大きかったためである。このような傾向は、REINHART らが流量継続曲線によって Fernow 試験結果を検討して、低水流出分に著しい増加を認めたことと一致する。低水流出分に比較的大きな割合で起こる増加の主たる理由は、前述のように無積雪流域では皆伐による蒸散損失の減少であり、積雪流域では夏期における蒸散損失の減少による低水流出分の増加と、融雪促進により融雪期の豊水流出分が根雪期間の低水流出分にまわるためである。

しかしながら、Wagon Wheel Gap 流域では明らかに豊水率が大きくなり、低水率・渇水率が小さくなって一様性が低下した。同じ積雪流域である上川・釜淵と異なるのは、融雪促進が根雪期間にまでさかのぼって及んでいないことと、とくに4～6月の豊水流出分が絶対値として明らかに増加したためと考えられる。

山火の影響については、影響期間の短い竜の口山—南谷の結果からではいまだ十分に明らかにできない。

(ii) 一部林木除去の影響

択伐の影響については、前述のように宝川試験について検討できなかったが、Fernow 試験の結果から傾向としては皆伐の場合とほぼ同様で、その影響程度が低いものと考えてよいようにみられる。しかし、上川の伐採進行中の期間で複雑な影響がみられたように、積雪流域では簡単ではないかもしれない。こんごの検討にまづはかなからう。

溪岸再生林分の伐採の影響については、竜の口山—北谷の結果からでは十分明らかにできない。

(iii) 林木生育の影響

伐跡地への樹草の再生・発達につれて皆伐後良くなった一様性はふたたび悪くなり、伐採前の状態に復帰していくことが明らかである。このことは再生樹草を抑制すれば、当然皆伐直後に起こった一様性の悪化はそのまま維持されることで裏付けられた。

(iv) 伐跡地への階段工築設の影響

伐跡地に階段工が築設されたとき、皆伐で向上された一様性がいっそう向上することが認められた。

VII 総括および結論

VII-1. 研究の目的

洪水予防・河水資源確保のための河川流出調節の一連の方法の1つとして、水源山地での森林の効果の合理的活用法を確立するため、1つの方法として現実に設定された試験流域の森林植生、あるいは微地形などの地表条件になんらかの人為的变化を与えることによる流出の変化の有無・程度を長期的・統計的に検討し、森林の洪水予防効果と河水資源確保効果、いいかえればいわゆる森林の理水効果を解明し、その合理的補完法を含めて水源森林の合理的取扱いの考え方の基礎をうることである。

VII-2. 研究の方法と資料

農林省林業試験場上川森林理水試験地の北谷、釜淵森林理水試験地の2号沢、宝川森林理水試験地の初沢、竜の口山森林理水試験地の南谷および北谷、およびアメリカ Colorado 州 Wagon Wheel Gap 森林理水試験地のB流域の6試験流域で得られた、それぞれ18, 26, 24, 28, 16年間にわたる水文資料が解析された。

(i) 試験流域の概要

上川一北谷は北海道中部で、石狩川水源流域内にあり、中・古生層と花崗岩から成り、東西に細長い部分的に急峻な地形の流域で、面積は約645haである。年降水量は1450mm前後で、そのほぼ35%が11月から4月上旬までに雪として降る。

釜淵一2号沢は山形県下で、最上川水源流域内にあり、凝灰岩・頁岩質凝灰岩から成り、長方形の急傾斜な流域で、面積は2.48haの小流域である。年降水量は2600mm前後で、そのほぼ40%が12月から3月までに雪として降る。

宝川一初沢は群馬県下で、利根川水源流域内にあり、花崗岩・第三紀層から成る細長い急峻な流域で、面積は約118haである。年降水量は流域中の最少の地点において2150mm前後で、ほぼ40%が11月から4月までに雪として降る。

竜の口山一南谷および北谷は岡山県下で、旭川の中流域内にあり、古生層・石英斑岩から成る扇形の流域で、面積はそれぞれ約23, 17haである。年降水量は1150mm前後で、雪はほとんど降らない。

Wagon Wheel Gap-B はアメリカ Colorado 州に設定された石英粗面岩から成る細長い、おだやかな地形の流域で、面積は約80haである。年降水量は500mm前後で約50%が10月から3月にかけて雪として降った。

(ii) 森林処理（森林植生の経年変化）の概要

上川一北谷では地表植生の豊かなエゾマツ・トドマツなどの針葉樹40%、ミズナラ・ダケカンバ・シナノキなどの広葉樹60%から成る亜寒帯天然林が1954年9月台風におそわれ、その80~90%の林木が幹折れあるいは倒伏した。約1か年放置された後、林道がつくられ、風害木が3か年間にわたって伐採・搬出された。その後放置されて、樹草が再生し始めた。

釜淵一2号沢ではミズナラ・ブナなどの広葉樹天然林中に団地状にスギ・ヒノキの人工林分が介在し、かつ地床植物の豊かな森林が1947年12月から翌春にかけて皆伐された。その後樹草は再生したが、4か年は毎年春・夏2回の全刈下刈りで、その後の7か年は毎春の火入れで抑制された。このため再生林の成立はみられなかった。その後1960年9月に、全域に切取階段工が施設され、階段上にスギが植栽され、以後毎夏保育下刈りが行なわれた。

宝川一初沢ではブナを主とする広葉樹80%、ヒバ・ヒメコマツなどの針葉樹20%の豊かな地床植物をもつ森林の大径木の約50%が、1948年から5か年間に団地状に択伐された。その後は放置され、伐跡地に樹草が再生した。

竜の口山一南谷では小部分のヒノキ造林地を含む地床植物の豊富なアカマツ天然林がキイロコキタイムシなどの被害を受けたため、1944年秋から翌年6月までにアカマツが皆伐された。その後8か年放置されて樹草が再生し、繁茂したが、その後5か年間にわたり一部ずつ地ごしらえされてヒノキなどが植栽されたが、1959年9月に山火事でほとんど全植生が焼失した。跡地に4か年にわたりクロマツが植栽され、保育下刈りが行なわれた。その後は放置され、しだいにクロマツ幼齢林になっていった。

竜の口山一北谷では小面積のヒノキ人工林分を含むアカマツ天然林が、虫害被害後の1945年春から1947年夏までに皆伐された。その後14か年は放置されて樹草が再生し、アカマツと広葉樹の混交林が再生していった。しかし、1964年10月主流路の兩岸で4m幅に溪岸再生林分が伐採され、翌年も追加伐採された。

Wagon Wheel Gap-Bでは山火あとに再生したDouglas fir・Engelmann spruce・Aspenを主とし、面積で約10%の裸地を含む森林が1919年夏期にほとんど伐採され、翌年には残存溪岸林分も伐採され、枝条その他は集積されて焼かれた。その後1926年試験終了までほとんど放置され、Aspenを主とする再生林ができていった。

以上から、解析について着目された森林処理は、成熟林の伐採と伐跡地への樹草の再生とその発達経過が中心で、そのほか再生植生の継続的・人為的抑制あるいは山火による抑制、伐跡地への植栽、溪岸再生林分の除去である。また、伐跡地への階段工の築設の影響もあわせて検討された。なお成熟林の伐採には1～3年間で行なわれた皆伐（釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap）、風害後数年間にわたって行なわれた皆伐（上川）、数年間にわたって行なわれた団地状伐（宝川）を含んでいる。

(iii) 解析の方法

各流域の森林処理前の期間、すなわち基準期間における上述各流出因子（従属変量）と基準流域の同種流出因子、あるいはこれと特定の気象因子の複合因子、または特定地点の各種気象因子あるいはそれらの複合因子（独立変量）との回帰関係を求め、この回帰関係は、もし森林が処理されなければ処理後の期間、すなわち処理期間においてもあてはまるものと仮定し、得られた推定回帰式に処理期間の独立変量を適用して、この期間の各流出因子の期待値を各年および各増水について推定し、この期待値を実測値と比較し、その差をもって森林植被変化の影響を考え、この差と植被条件ならびに気象条件の経年的適合性の検討により森林植被変化が年間流出の各種相に及ぼす影響の方向と程度、気象条件との関係、さらに流出変化の理由を検討する方法をとった。

なお回帰解析に当たっては、基準期間における森林植生の成長に基づく林況の自然変化、解析過程での数学的取扱いに関する仮定についての吟味を行ない、また推定された期待値の信頼程度も参考までに計算された。

(iv) 流出量資料の取得と解析された流出因子

次のように測定された流量資料が各種期間別に集計された。増水ピーク流量以外の流出量は、雨量との対比を便にするため、すべてmm単位で表わされた。

上川—北谷では溪流をコンクリート水路で整え、下流端にバザン長方形ノッチをつけ、自記計で水位 (H cm) が測定され、 $Q = 3.130 \cdot 10^{-3} \cdot H^{1.549}$ で流量 (Q m³/s) が算出された。

釜淵—2号沢および基準流域である1号沢では溪流にコンクリート湛水池を設け、その下流壁に45°バザン三角形ノッチをつけ、自記計で水位を測定し、流量 (Q l/s) は $Q = 9.254 \cdot 10^{-3} \cdot H^{2.293}$ ($H \leq 6$), $Q = 6.910 \cdot 10^{-3} \cdot H^{2.449}$ ($H > 6$) で算出された。

宝川—初沢では溪流をコンクリート堰堤でせきとめ、これにバザン長方形ノッチ7個を設け、自記計で水位を測定し、流量 (Q m³/s) は $Q = \{(0.01B + 4.5)/(16.44 \log H + 30.56) + 0.3\} \sqrt{2g} BH^{3/2}$ で計算された。ただし B はノッチの幅 (cm) で、 g は重力の加速度 (cm/s²) である。また基準流域である本流ではコンクリート長方形水路が設けられ、その下流端で自記計により水位が測定された。流量は $Q = (0.032 - 0.047/\sqrt{H}) H^{3/2}$ ($H \leq 9.1$), $Q = (0.056 - 0.122/\sqrt{H}) H^{3/2}$ ($9.1 < H \leq 33.4$), $Q = (0.049 - 0.080/\sqrt{H}) H^{3/2}$ ($H > 33.4$) で算出された。

竜の口山—南谷および北谷では溪流をコンクリート堰堤でせきとめ、60°バザン三角形ノッチをつけ、自記計で水位を測定し、 $Q = 8.066 \cdot 10^{-3} \cdot H^{2.491}$ で流量 (Q l/s) が計算された。

Wagon Wheel Gap-B およびAではコンクリート湛水池の下流壁に60°三角形ノッチがつけられ、自記計で水位が測定され、Geological Surveyの式で流量が計算された。

つぎに説明する各流出因子について解析が行なわれた。

年流出量は各水年間の総流出量で、水年は、既往報告の成果との対比を便にするため、いわゆる実用的水年とした。

この際水年に関して検討し、つぎの知見を得た。積雪流域では積雪の始まる直前の時期でくぎり、また無積雪流域では暦年そのままとする実用的水年も、年降水量と年流出量の相関関係を尺度として判断すると、他のくぎり方による水年に比べて必ずしも劣るとはいえない。なお、この相関関係を主として支配するのは積雪—融雪関係と土壌水分関係であるが、やはり、水年内の適切な季節区分も考えると、わが国の無積雪地帯、および融雪が4月末までに終了する積雪地帯では、5月→4月くぎり、その他の積雪地帯では融雪が終了する時期によって、6月→5月あるいは7月→6月くぎりとするのが一般的には良いと考えられる。

1水年間の全部の日流出量を大きさの順で配列しなおし、その小さい方からそれぞれ50日分、85日分、90日分、140または141日分の合計流出量を渇水流出量・低水流出量・平水流出量・豊水流出量とした。これらは河川調査で定義される渇水量・低水量・平水量・豊水量の各間隔日数を2分割して得られるもので、河川の年間流況を示すに便で、これらの解析は森林が年間流況すなわち全体的流出状況やある種の高水流量・低水流量・平常水量におよぼす影響の目安を得るために採用された。これらの流出量の年降水量に対する比が年流出率・豊水流出率・平水流出率・低水流出率・渇水流出率である。

植物生育活動と流水中に占める融雪水の程度を総合的に判断して月単位で夏期流出量・冬期流出量、さ

らに冬期流出量を積雪期流出量・融雪期流出量に区分し、4種の季節流出量を定義した。なお夏期流出量・冬期流出量がそれぞれ夏期降水量・冬期降水量に対する比を夏期流出率・冬期流出率とした。これらは直接的に森林の季節的な影響の目安をうるために採用された。

増水量は1降雨による直接流出量で、出水ハイドログラフで基底流出量を差引いたもので、増水ピーク流量は1出水の最高水位に相当する瞬間流量である。これらは、森林が高水におよぼす影響の目安を知るために採用された。

年流出量に対する豊水流出量・平水流出量・低水流出量・渇水流出量の比をそれぞれ豊水率・平水率・低水率・渇水率とし、年間流出の一樣性の一面を検討するため採用された。

毎月の総流出量についても解析された。

（v） 解析に用いられた気象資料

解析の素材として利用できた気象資料はつぎのようである。

上川では測水所より約3 km離れた地点で測定された降水量・気温・蒸発量と、北谷測水所付近で測定された降水量である。

釜淵では、測水所より約1 km離れた地点で測定された降水量・気温・蒸発量・地温・湿度と、2号沢測水所付近で測定された降水量である。

宝川では、初沢測水所付近で測定された降水量・気温・蒸発量・湿度・地温である。

竜の口山では測水所付近で測定された降水量と、約4 km離れた地点で測定された気温・蒸発量である。

Wagon Wheel Gap では、A流域の3地点で測定された値から計算されたA流域集水地降水量と、A流域中の1地点で測定された気温・蒸発量・地温である。

（vi） 既往研究の概要

世界各国における試験調査流域の森林処理による森林理水試験のおもなるものについて、流域条件と森林処理の概要、試験の結果を文献により調べ、この報告で得た結果との比較に供された。

Ⅶ-3. 研究の結果

Ⅶ-3-1. 各流出量の期待値の推定回帰式

各流域ごとに年流出量、豊水・平水・低水・渇水各流出量、夏期・冬期・積雪期・融雪期各流出量、1～12月各月流出量、増水量、増水ピーク流量を従属変量とし、これらのそれぞれにきわめて関係が深いと考えられる基準流域の流出因子、および気象因子を、得られた資料の範囲で多数選んで整理し、これらの1ないし2以上の組合わせとの関係を線型回帰関係であるものとして解析した。

多数の試算結果、得られた最良の各推定回帰式計122個のうち、推計学的有意性が0.05水準以下の式は月流出量の場合の2例だけであった。また単相関係数または重相関係数が0.9以下の低度の相関関係であるものは、月流出量の関係で各流域に数例ずつ計18例、増水量ならびに増水ピーク流量の関係で1例あったが、他の103個の関係はすべて相関係数が0.9以上であった。

以上から、森林処理後期間において、森林が処理されなかった場合の各流出因子の期待値の推定には、得られた122個の回帰式が用いられた。

なお基準期間は、流出量の種類と流域によって異なり、年・豊水・平水・低水・渇水各流出量の場合は7～11か水年、夏期流出量の場合は7～10箇夏期、冬期流出量の場合は7～12箇冬期、月流出量の場合7～12か年分である。増水量と増水ピーク流量については釜淵—2号沢では9年間の夏期（5～11月）の93

の出水、竜の口山—北谷では 8 年間の 290 の出水からのこれらを基準期間資料とした（解析に必要な関連独立変量を得られないものは除いたので、これら年間のすべての出水がとりあげられたわけではない）。

宝川—初沢については豊水・平水・低水・渇水各流出量について十分な精度の推定回帰式を得られず、解析は断念された。また増水量・増水ピーク流量については資料の得られた釜淵—2 号沢と竜の口山—北谷の両流域についてだけ解析された。

VII-3-2. 流出量の変化と伐採・伐跡地の植被の変化および気象条件

(a) 流出量の変化

前述のように、回帰解析で得られた推定式に処理期間における関連独立変量を適用して各種流出量の期待値が計算され、これらと実測流出量との差が求められた。この差が皆伐および択伐、さらにその後の植被変化などによる流出量の変化量と考えられた。

ついで、これら変化量の推計学的有意性が確かめられた。その結果、比較的大きな変化量の有意性が高い反面、とくに小さな変化量でかなり有意性の低いものもあったが、群として扱うときはこれらも含めて検討がすすめられた。

各種流出量の変化は増加または減少であったが、その量の経年変化は主として伐跡地への樹草の再生と発達、再生樹草の継続的、人為的抑制あるいは山火による一時的抑制、伐跡地への植栽、溪岸再生林分の除去および伐跡地への階段工築設の影響と気象条件の影響によるものと考えて両者の関係を検討した。すなわち、変化量の経年変化と伐跡地の植被変化の関係は、両者の経年の符合性を総合的にみることが確かめられ、また、気象条件との関係は両者の相関関係を調べることで検討された。この相関分析は、釜淵の皆伐された年および再生樹草が下刈りまたは火入りで抑制された期間、竜の口山—南谷の皆伐後放置され、ついで下刈りされて植栽が行なわれた期間、竜の口山—北谷の皆伐後放置された期間の資料について行なわれた。これらの期間では皆伐跡地の再生樹草がだまかには同様な状態にあったとみなし得て、植被の違いの影響を除外できると考えられたからである。このような意味で、釜淵の階段工が築設された期間と宝川の択伐後放置された期間の資料についても分析が行なわれた。その結果資料の範囲では、変化量と各種期間の降水量・蒸発量または平均日蒸発量・平均最高気温・平均気温などとの間にかんがりの相関関係があることが知られた。

さらに内外における既往の同種試験および関連する主要研究の成果を、できるだけ多数集積して上記の結果と比較検討した。

そして、以下述べることが明らかになった。

(b) 年流出量

(i) 全林木除去の影響

皆伐あるいはほとんど皆伐に近い森林の伐採・除去により、年流出量・年流出率が増加したことが上川・釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap の試験で認められた。

このことは、世界における既往同種試験の結果とまったく一致する。

この報告で扱った流域を含めて既往試験が行なわれた流域の森林は Kenya-Kimakia A の竹林まで含み、きわめて多様なものであり、平均年降水量も Wagon Wheel Gap の 536mm から釜淵の 2641mm まで含み、気象条件も多様であり、さらに流域面積も釜淵—2 号沢の 2.5ha から上川—北谷の 645.5ha まで含んで多様であるなど、条件はきわめて異なるが、結果は同一である。このことから、一般に皆伐により年

流出量・年流出率は増加するものとしてよからう。

皆伐開始以降で放置された数年間における最大増加量は上川 268mm, 釜淵 217mm, 竜の口山—南谷 210mm, 竜の口山—北谷 205mm, Wagon Wheel Gap 46mm であった。これらの値は既往の試験で得られた値の範囲内のものであった。

この結果、森林皆伐後の年流出量の最大増加量は Wagon Wheel Gap-B の 46mm から Kenya-Kimania A の 457mm まで広い範囲にわたっている。このようになる理由は主として、森林を含む流域条件の大きな違いと気象条件、とくに降水量の大きな違いにあると考えられる。

日本の場合、現状では、皆伐による年流出量の増加は 200~300mm の程度とみてよからう。

なお、最大増加量は少数の例外を除いて皆伐が完了した年、またはその翌年に発生しており、いわゆる伐採後第 1 年の増加量といってよからう。

最大増加量を増加率でみると、上川 33%, 釜淵 10%, 竜の口山—南谷 46%, 竜の口山—北谷 43%, Wagon Wheel Gap 30% であった。既往の試験結果も考慮に入れて、日本では最大限 10~50% の範囲で増加すると、現状ではみられよう。

また最大増加量を流出率の増加でみると、上川 19%, 釜淵 8%, 竜の口山—南谷 15%, 竜の口山—北谷 14%, Wagon Wheel Gap 9% であった。既往の試験結果も考慮し、日本では最大限 8~19% の範囲で増加すると現状ではいえよう。

以上で増加量の最大限度の目安をみたが、皆伐跡地は小低木を交えて草が再生した状態がほぼ同じような状態で維持されたときは、年流出量の増加量 (ΔD) は年降水量 (P) によって支配されることが明らかにされた。両者は直線的関係にあるとして次式で示された。

$$\Delta D = 0.1836 P - 340 \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

$$\Delta D = 0.2006 P - 209 \quad (\text{竜の口山—南谷})$$

$$\Delta D = 0.2135 P - 164 \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

降水量の場合ほどに明りょうではなかったが、年蒸発量・年平均日蒸発量・年平均気温・年平均最高気温との間には負の相関関係が認められた。

竜の口山—南谷では山火事で皆伐跡地の再生低木・草生を失ったが、このため明らかに増加が認められた。その最大増加量・最大増加率は、皆伐直後のそれと同等のものであった。既往試験例が少なく十分な検討はできなかった。

(ii) 一部林木除去の影響

5 か年にわたり利用価値のある林木が逐次小団地状に伐採され、蓄積で 50% 除去された後、宝川では年流出量・年流出率が増加したことが明らかに認められた。

このことは試験条件が非常に異なるにもかかわらず、既往の試験結果とまったく同じである。

増加量は当然皆伐の場合よりも小さく、そして各種流域条件・気象条件で異なるが、それにもかかわらず既往結果から、択伐率が高くなると増加量は皆伐のそれに近づくこと、最終的な択伐率は高くても、年々少しずつ長期間にわたって伐採が実行されたときはほとんど影響がないこと、同じ択伐率でも単木択伐より団地状択伐に影響が強いことがうかがわれた。

択伐跡地の数年間で植被状態がほぼ同様のときは、増加量は年降水量と正の相関関係にあり、また年蒸発量と負の相関関係にあることがうかがわれた。

竜の口山一北谷では面積で 2.5% に相当する再生溪岸林分が伐採・除去されたとき、年流出量・年流出率が増加したことが認められた。このことは試験条件が非常に異なるにもかかわらず、既往試験結果と同じである。増加量は択伐の場合と同様に流域条件とくに溪岸の地形・土壌や気象条件で異なることが考えられるが、試験例も少なく、明確なことはいえない。

(iii) 伐採率と増加量の関係

ここで、知られた限りの既往試験結果も加えて、横軸に伐採率、縦軸に増加量をとってグラフに示すと、すべての点は原点と伐採率 100% (皆伐) の時の増加量 450 mm の点を結んだ直線の下領域にはいる。

また試験条件がきわめて多様にもかかわらず、伐採率とともに増加量が大きくなる傾向が認められ、このことは、北面流域と南面流域に分けてみるといっそう明かになり、ほぼつぎの関係が認められた。

$$\Delta D = 1.9918 RC - 21.8 \quad (\text{南面流域})$$

$$\Delta D = 3.1046 RC - 16.8 \quad (\text{北面流域})$$

ただし、 ΔD は年流出量の増加量 (mm)、 RC は伐採率 (%) である。

(iv) 林木生育の影響

伐跡地へ樹草が再生し、発達するにつれて増加量が小さくなっていくことが上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap 各試験で認められた。

このことは、降水の年間分配がこれら各地より単純な Coweeta 試験、あるいはその他で明らかに認められていることと一致する。ただし、降水の年間分配が複雑な日本では Coweeta の結果にみられるほど明りょうではない。

既往結果も総合してみると、増加量が小さくなるレートは当然のことながら植生の回復レートに比例する。したがって、気象・地文など諸条件が植物生育に適するところでは減退は速い。また、当初の伐採率が低いほど速い。流域条件にも左右されるため、地域によってかなり異なるものと考えられる。比較的に減退傾向が明りょうな竜の口山一北谷で皆伐完了後 16 年めにもなおかなりの増加量が認められ、Coweeta では影響が 35 年間くらい持続するといわれていることなどから、温帯林地方では伐採の年流出量に及ぼす影響はかなり長期間にわたり持続されるものと考えられる。

竜の口山一南谷では、樹草のある程度の再生後に植栽が行なわれたが、その影響は明らかにできなかった。しかし、アフリカ・アメリカでの造林試験で、造林木の生育とともに年流出量が小さくなることが明らかにされている。造林面積率と減少量との関係が高度であることも指摘されている。これらのことが伐採による年流出量の増加を裏付けている。

(v) 伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で、樹草の再生した伐跡地へ階段工が築設されたとき、年流出量は明らかに増加し、その増加量は皆伐直後のそれより大きかった。しかし、こんど追試が必要であろう。

(c) 季節流出量

(i) 全林木除去の影響

皆伐あるいは、ほとんど皆伐に近い森林の伐採・除去により夏期 (植物生育期) 流出量と夏期流出率が増加したことが上川・釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap 各試験で明らかにされた。

このことは流域各種条件が異なるにもかかわらず、既往の各試験結果と一致しており、一般に皆伐で夏期流出量は増加するといつてよからう。

皆伐が終了した年、またはその翌年に大きな増加量がみられた。すなわち上川 83mm, 釜淵 114mm, 竜の口山—南谷 153mm, 竜の口山—北谷 131mm, Wagon Wheel Gap 3.9mmであった。海拔高がきわめて高く、かつ雪の形の降水の多い Wagon Wheel Gap を除いて、試験条件がかなり異なるにもかかわらず、Fernow 試験の結果を含めて最大増加量が極端にちがわないことが注目され、増加量の目安となるものと考えられた。

しかし、年流出量の場合と同様、伐跡地の植被状態がほぼ同じときは、増加量は夏期降水量との間に正の相関、また夏期平均気温・夏期平均月蒸発量・夏期平均日蒸発量・夏期平均月最高気温との間に負の相関が認められたことなどから、増加量の比較には注意が必要である。

夏期流出量の場合と同様にして、冬期（植物休眠期）流出量と冬期流出率が増加したことは、上川・竜の口山・Wagon Wheel Gap で明らかに認められた。

このことは、試験条件が異なるにもかかわらず既往の各試験結果と一致する。したがって、皆伐によって一般に冬期流出量は増加するといっておかろう。

皆伐が終了した年、またはその翌年に大きな増加量が現われている。すなわち、上川 181mm, 釜淵 33mm, 竜の口山—南谷 54mm, 竜の口山—北谷 22mm, Wagon Wheel Gap 44mm であった。上川で非常に大きい、他は Fernow 試験の結果も含めて 20~50mm で、増加量の目安となろう。

しかし夏期流出量の場合と同様にして、増加量は冬期降水量との間に正の相関、また冬期平均日蒸発量・冬期平均月蒸発量・冬期平均気温との間に負の相関が認められており、増加量の比較には注意を要する。

竜の口山—南谷では伐跡地の山火による夏期流出量の増加が認められ、増加への影響は皆伐よりも強いと推定された。しかし、冬期流出量への影響は明確には認められなかった。

(ii) 一部林木除去の影響

宝川では4夏期にわたる択伐により、夏期流出量が増加したと認められた。このことは試験条件が異なるにもかかわらず、既往試験の結果と一致する。

しかし冬期流出量については、必ずしも増加したとは認められなかった。このことは既往試験の結果と異なる。既往の結果を含めて総合すると、択伐の程度その他によって、年流出量の変化量の季節分配が異なることが推定された。

竜の口山—北谷では溪岸再生林分の伐採、除去により夏期流出量の増加が認められた。

冬期流出量については必ずしも明確ではなかったが、増加の傾向はうかがわれた。冬期流出量よりも夏期流出量への影響の方が強かったことは明らかである。

既往の結果を含めて考察すると、ある程度以上の溪岸林分伐採が季節流出量に影響することは確かであるが、その影響の程度や影響の季節分配は、伐採の程度、流域条件その他によって異なることは択伐の場合と同様に考えられた。なお多数の追試が必要であろう。

なお夏期流出量の増加量は、夏期降水量と正の相関関係があり、冬期流出量の増加量は冬期平均気温と負の相関関係がわずかにうかがわれた。

(iii) 林木生育の影響

伐跡地へ樹草が再生し、発達するにつれて夏期流出量・冬期流出量の増加量が小さくなっていく傾向は、上川・釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap 各試験の結果から認められた。

このことは試験条件が異なるにもかかわらず、既往の試験結果と同じである。

増加量は降水量その他の気象条件で左右されるため、釜淵の冬期流出量の場合のように、増加が不明りようになることもある。

伐跡地への樹草の再生・発達につれて増加量が小さくなるレートは、当初の森林処理程度・植生の回復レート・流域条件・気象条件などで左右されるから地域によって異なり、また夏期流出量と冬期流出量の間にはレートの差があることが考えられた。竜の口山—北谷試験の結果では、冬期流出量の増加量が皆伐終了後16年前後で0に近づく傾向がうかがわれた。

竜の口山—南谷における伐跡地への植栽の影響については、明らかなものを認め得なかった。

(iv) 伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で階段工が築設された結果、明らかに夏期流出量・冬期流出量ともに増加した。積雪期の著しい増加のため冬期流出量の増加量は、夏期流出量のそれ以上であった。1試験例だけであるので、こんご追試が必要である。

(d) 月流出量

(i) 全林木除去の影響

上川・釜淵・Wagon Wheel Gap 各積雪流域の試験で、皆伐により積雪期後半の各月および融雪期前半の各月でその流出量が増加し、融雪期後半各月で減少することがきわめて明りように認められた。林冠除去による融雪促進に関係があると考えられた。

なお、積雪期流出量の増加量と、積雪期間の平均最高気温および平均気温との間には正の相関が認められた。

竜の口山試験では6月・8～10月の各月で総流出量が減少し、冬期および4月・5月・7月の各月で増加することが認められた。前者ではとくに6月・9月の両月に後者では3～5月・7月に著しいことが認められた。気温・日射量・梅雨に関係があると考えられた。したがって、上川の夏期でも同じことが起こっており、7月・8月とくに8月に減少が起きている。釜淵でも8月には年によって減少が起きている。Wagon Wheel Gap で夏期に減少が起きていることがないこと、および釜淵で年によっては8月でも減少が起きている理由については後にふれる。

竜の口山試験の山火による再生樹草の焼失の影響については明りょうなものを認められなかった。

(ii) 一部林木除去の影響

宝川で択伐により融雪期前半の月で総流出量が増加し、後半の月で減少することがいちおう認められ、皆伐の場合と傾向は同じであることが示された。

伐採量が少ないことが、皆伐の場合ほど明りょうでない原因と考えられた。

竜の口山—北谷における溪岸再生林分の伐採の影響については、明らかなものを認められなかった。

(iii) 林木生育の影響

伐跡地への樹草の再生・発達の影響は月流出量の変化量の変動が激しいため、各流域とも十分明らかでなかった。

しかし、Wagon Wheel Gap では各月流出量において伐採進行と樹草の再生・発達による植被量の減少あるいは増加の経年傾向に対し、変化は増あるいは減の傾向が認められ、上川・竜の口山でも変化量の大きい月では同様の傾向がうかがわれた。

（iv）伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で階段工が築設されて以降、融雪期前半にあたる月の流出量の増加と後半にあたる月の減少の傾向は皆伐後の期間のそれよりいっそう明りょうに認められた。

また8月・9月の流出量は明らかに増加したが、このことは皆伐後の期間で年によっては減少さえも起こったのとは著しく異なっている。

（e）流出量の季節分布

（i）伐採による変化量の季節分布

皆伐・択伐完了後で樹草の再生を許した数年間について、年流出量の増加の夏期・冬の分配をみると、増加量・増加率・流出率の増加が夏期よりも冬期に大きい冬増加型流域（上川・Wagon Wheel Gap・Coweeta-13・17）と冬期よりも夏期に大きい夏増加型流域（釜淵・宝川・竜の口山・San Dimas-Monroe Canyon・Coweeta-1・19・22）がある。ただし、夏増加型でも竜の口山では増加率・流出率の増加は冬型と同じで例外である。

つぎに夏期間内での変化量の月別の分配をみると、上川・釜淵・竜の口山では盛夏期の月にはかえって減少となり、それ以外の月、ことに晩夏に増加となる傾向が共通してみられる。この理由は、後に述べる増水量の変化で説明できる。

宝川・Wagon Wheel Gap ではこのような傾向は認められなかった。前者は森林処理が弱度であったことに関係があり、後者は夏期の流出量増加が小さく不明になることとともに海拔高がきわめて高く盛夏期の日射量が必ずしも多くないことや、気温が低いことに関係があると考えられた。

以上のことは、増加率・流出率の増加についても傾向は同じであった。

冬期間内での変化量の月別の分配をみると、積雪流域では共通して積雪期の各月で増加し、さらに融雪期前半にあたる月で大きく増加し、融雪期の後半にあたる月で大きく減少する傾向が明らかに認められた。

積雪のない竜の口山では、すべての月に増加が分配されているが、とくに1～3月の増加が顕著であった。

これらのことは、増加率・流出率の増加についても同様であった。

（ii）伐跡地への階段工築設による変化量の季節分布

釜淵における階段工築設期間内の変化量の夏期と冬の分配をみると、皆伐後の期間と異なり、年流出量の増加量の60％は冬期に起こり、夏期のそれよりも多い。皆伐後期間では冬期は明確に増加とはいえなかった程度であったのと大いに異なる。もちろん、降水量など気象条件も影響していることは先に述べた。

夏期間内における増加量の月別の分配をみると、全部の月に分配されているがとくに8～10月の増加が大きく、皆伐後の期間のように盛夏期に減少傾向がみられないことが大いに異なっている。

冬期間内における増加量の月別の分配をみると、皆伐後の期間の状態とまったく同じで、積雪期の後期と融雪期の前半期にあたる2月および3月の増加と融雪期の後半にあたる4月および5月の減少が明りょうであった。

増加率・流出率の増加についても傾向は同じであった。

(iii) 変化量の季節分布

森林の伐採による流出量の変化の季節分布は森林の種類、森林伐採の程度、積雪の有無、降水量の年間分布など気象条件および土壌・地形・方位などの流域地文条件など種々の条件によって支配される。したがって、当然流域によって変化量の季節分布が異なる。森林とその処理条件がほぼ同じならば、地域によって変化量の季節別の分配が決まる可能性がある。

(f) 低水流量

(i) 全林木除去の影響

皆伐あるいはほとんど皆伐に近い森林の伐採・除去により、森林が低木を交じえた草地に転換されたとき、平水流出量、低水流出量・渇水流出量とこれらの流出率が増加したことが上川・釜淵・竜の口山・Wagon Wheel Gap の各試験で明らかに認められた。

このことは、検討の方法は異なるが、既往の諸試験の結果と一致する。このことから、一般に、森林の皆伐により低水流量は増加するとしてよからう。

しかし増加量については森林の種類で基本的に異なり、また降水量・気温など気象条件によって異なると考えられる。一方、低水流量の表現のしかたは各種のものが用いられている。これらのため低水流量の増加量を具体的に数字を掲げることは意味がない。

なお増加量と気象条件との関係については、次のことが明らかにされた。すなわち、平水流出量の増加量と年降水量との間に正の相関、年蒸発量・年平均気温・年平均最高気温との間に、正または負の相関（積雪の有無で異なる）が認められ、低水流出量の増加量と年降水量・夏期降水量・冬期降水量との間に正の相関、夏期平均気温・夏期平均最高気温・年蒸発量・冬期蒸発量との間に負の相関が認められた。また渇水流出量の増加量と、年降水量・冬期降水量との間に正の相関、年蒸発量・冬期蒸発量との間に負の相関関係がうかがわれた。以上増加量と気象条件の関係については、もちろん流域によっては不明確の場合もあった。

竜の口山—南谷で、山火により伐跡地の再生樹草が全焼した後、明らかにこれらの低水流量の増加が認められた。その程度も皆伐によるそれよりも強いよううかがわれた。

(ii) 一部林木除去の影響

竜の口山—北谷の溪岸再生林分の伐採、除去の影響は不明確であった。宝川の択伐の影響については検討できなかった。

(iii) 林木生育の影響

皆伐跡地に樹草が再生し、発達するにつれて平水流出量・低水流出量・渇水流出量の増加量が小さくなり、しだいに皆伐前の状態に近づいていくことが竜の口山—北谷、Wagon Wheel Gap 両試験の結果で明らかに認められた。

このことは Fernow や Coweeta の試験でも明らかにされており、一般に皆伐跡地に樹草が再生、発達するにつれて増加量は小さくなり、皆伐前の状態にしだいに回復していくものとしてよからう。

増加量が小さくなっていくレートは森林の種類とその処理の程度、再生樹草の種類や再生の程度、気象条件など多くの因子で左右されよう。竜の口山—北谷で皆伐後約10か年、Coweeta-13 で15か年くらいで皆伐前の状態に回復したものと認められた。

（iv）伐跡地への階段工築設の影響

釜淵で伐跡地に階段工が築設されたのち、平水流出量・低水流出量・渾水流出量が増加したことが明らかに認められた。

増加量は気象条件に左右されることがうかがわれた。

（g）高水流量

（i）皆伐の影響と初期水位・降雨との関係

皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採により、増水量と増水ピーク流量が増加すること（伐採前より大きくなること）が釜淵—2号沢、竜の口山—北谷試験で明らかに認められた。しかし同時に、減少すること（伐採前より小さくなること）もかなりあり、またほとんど無変化の場合もあることも明らかに認められた。

森林の種類など試験条件が異なるにもかかわらず、このことは Fernow 試験でも明らかに認められており、いちおう皆伐により増水量・増水ピーク流量は増加または減少し、ときにはほとんど無変化の場合もあるとしてよからう。

伐採により増水量が増加することについては、既往の同種試験結果が一致して認めており、このことは大きな面積率で植栽され、森林が造成されたことにより増水量・増水ピーク流量が小さくなったことを明らかに認めた既往試験結果で裏付けられている。しかし、減少または無変化の場合があることの試験はこの報告と Fernow 試験のほかは Fraser 試験（強度択伐）の結果から推定されるだけである。こんご追試が必要であろう。

増加・減少のいずれになるかは、伐跡地の植被条件が同じときは、以下述べるように、降雨条件と流域の初期乾湿条件でほとんど決まることが明らかに認められた。

まず、増水量について検討された。

初期水位がある限度以上高いとき、すなわち流域が湿潤なときは、いかなる雨量（ただし10～15mm以上、これ以下ではほとんど感知できる出水は起こらなかった）の降雨によっても減少は起こらず、増加し、かつ増加量は一連続雨量とともにほぼ直線的に大きくなることが認められた。この限界の水位は釜淵—2号沢5.0cm（流量0.37 l/s に相当）、竜の口山—北谷8.6cm（流量1.72 l/s に相当）付近と推定された。

初期水位がこの限界水位以下で低いときに降雨があった場合は、その増水量は減少し、かつ減少量は雨量とともにほぼ直線的にある限度まで大きくなった。そして、減少量の限度は初期水位の階級、すなわち流域の乾燥程度で異なり、乾燥がはなはだしいほど大きくなると認められた。最も乾燥していたときの減少量すなわち全体での減少量の最大は、両流域ともほぼ同様に30mm強くらいと推定された。

各水位階級別の最大減少量に対応する雨量（第1限界雨量）以上の雨量の一連続降雨による増水量も減少したが、その減少量は雨量とともにほぼ直線的に小さくなった。最も乾燥していたときの第1限界雨量すなわち、全体での第1限界雨量の最大は釜淵75mm、竜の口山100mmくらいと推定された。

さらに雨量が大きい場合、すなわちある限界の雨量（第2限界雨量）以上の雨量の一連続降雨による増水量はすべて増加となり、増加量は雨量とともにほぼ直線的に大きくなると認められた。最も乾燥していたときの第2限界雨量、すなわち全体での第2限界雨量の最大は両流域にほぼ同じで、200mm 強と推定された。

雨量と変化量の関係を簡単に2本の直線の組合わせで考えたが、実際にはある種の曲線とも考えられる

がこんごの研究にまっはかない。

流域の初期乾湿条件を初期水位で考えたが、実際的には土壤水分あるいは先行降雨などの先行気象条件で考える必要があり、こんごの検討が重要であろう。

同様に、増水ピーク流量についても検討された。ただし一連続雨量の代わりに最大 1 時間雨量が用いられた。そして初期水位・最大 1 時間雨量・増水ピーク流量の変化量の 3 者の相互関係のパターンは、増水量の変化量の場合とまったく同様であった。

流域が最も乾燥していたときの減少量すなわち全体での減少量の最大値は両流域で大きく異なり、釜淵 38 l/s 前後、竜の口山 250 l/s 前後と推定された。

最も流域が乾燥していたときの第 1 限界 1 時間雨量、すなわち全体での第 1 限界最大 1 時間雨量の最大値は釜淵 19mm/hr 前後、竜の口山 14mm/hr 前後と推定された。

さらに流域が最も乾燥していたときの第 2 限界最大 1 時間雨量、すなわち全体での第 2 限界最大 1 時間雨量の最大値は釜淵 26mm/hr 前後、竜の口山 42mm/hr 前後と推定された。

なお降雨強度にかかわらず（ただし 2～4 mm/hr 以上）、増水ピーク流量が増加となるための限界初期水位は前述の増水量の場合の初期水位よりもさらに高い水位と推定された。

(ii) 増水量・増水ピーク流量の変化の目安

前項で述べたように、皆伐による高水流量の変化は流域の初期乾湿条件と降雨条件で強く左右される。したがって、少なくともこの 2 条件の内容別に变化量の目安を知る必要がある。しかし、現状では十分な資料を得ていないため、前記のとおり概念的な説明とある種の限界条件を示し得たにすぎない。とくに流域の乾湿条件については、実際的な表現がまだ明確にできない。

そこで、流域の初期乾湿条件については厳密には考えないで、ただ極端には乾燥していないとしたときのおおよその増加量の目安をうるための参考として、一連続雨量と増水量および増水ピーク流量の増加量・増加率との平均的な関係をみた。用いた資料の範囲ではほぼつぎの各式で示されるものと考えられた。

（増水量の増加量と一連続雨量）

$$\Delta r = 0.2148 p - 5.61 \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

$$\Delta r = 0.3252 p - 8.38 \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

$$\text{ただし} \begin{cases} \Delta r: \text{増水量の増加量 (mm)} \\ p: \text{一連続雨量 (mm)} \end{cases}$$

厳密には直線関係でなく、2 つの双曲線もしくは放物線状曲線の組合せからなる S 字状曲線と考えられ、これはこんごの研究課題であろう。

（増水量の増加率と一連続雨量）

$$dr = 28.36 + \frac{251.60}{p} \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

$$dr = 64.94 + \frac{2.30}{p} \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

$$\text{ただし } dr: \text{増水量の増加率 (\%)}$$

（増水ピーク流量の増加量と一連続雨量）

$$\Delta q = 0.1175 p + 1.79 \quad (\text{釜淵—2 号沢})$$

$$\Delta q = 1.2058 p - 8.23 \quad (\text{竜の口山一化谷})$$

ただし Δq : 増水ピーク流量の増加量 (l/s)

この場合も、厳密には直線ではなく、S字状曲線と考えられ、こんご検討される必要があろう。

(増水ピーク流量の増加率と一連続雨量)

$$dq = 23.02 + \frac{1599.00}{p} \quad (\text{釜淵一2号沢})$$

$$dq = 60.52 + \frac{1177.61}{p} \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

ただし, dq : 増水ピーク流量の増水量 (%)

(増水量の増加の目安)

増水量の増加の程度は、気象条件はもちろん森林の種類・地形など流域の地文条件によっても左右されるから、流域によって異なり厳密には一般的に示すことはできない。しかし諸条件を厳密にはいわないでおおよその増加を知る必要もあると考えられるので、そのときの参考までに、この報告の結果を含めて既往の結果を整理すると、個々の出水では伐採が行なわれなかった場合の期待値に対して、数倍から十数倍に達することもあったが、各試験ごとの平均では1.15~2.03倍であった。

なおここで扱った両流域では、100mm以上の一連続雨量による増水量では平均増加率はほぼ定常になると考えられ、期待値に対して釜淵1.30倍、竜の口山1.65倍であった。

(増水ピーク流量の増加の目安)

増水量の場合と同様にして個々の出水についてみれば、数倍から十数倍に達する場合もあったが、平均では1.05~1.91倍であった。なおここで扱った両流域では100mm以上の一連続雨量では、平均増加率はほぼ定常と考えられ、釜淵1.35倍、竜の口山1.70倍であった。

つぎに増加の場合と同様にして、増水量および増水ピーク流量の減少量・減少率と一連続雨量との平均的關係をみた。すなわち、流域の初期乾湿条件には厳密にふれないで、ただ比較的先行降雨が少なく流域がわりあい乾燥していたとしたときの、おおよその減少量の目安をうるための参考として考えた。用いた資料の範囲では、ほぼ次の各式で示されるものと考えられた。

(増水量の減少量と一連続雨量)

$$-dr = 0.2357 p - 2.20 \quad (\text{釜淵一2号沢})$$

$$-dr = 0.2690 p - 3.55 \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

$$\text{ただし} \begin{cases} -dr : \text{増水量の減少量 (mm)} \\ p : \text{一連続雨量 (mm)} \end{cases}$$

(増水量の減少率と一連続雨量)

$$-dr = \frac{1735.15}{p} - 4.97 \quad (\text{釜淵一2号沢})$$

$$-dr = \frac{1151.73}{p} + 25.01 \quad (\text{竜の口山一北谷})$$

ただし, $-dr$: 増水量の減少率 (%)

(増水ピーク流量の減少量と一連続雨量)

$$-dq = \frac{p}{0.0907p + 5.59} \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

$$-dq = \frac{p}{0.0021p + 1.33} \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

ただし, $-dq$: 増水ピーク流量の減少量 (l/s)

(増水ピーク流量の減少率と一連続雨量)

$$-dq = 21.13 + \frac{665.78}{p} \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

$$-dq = 22.19 + \frac{1973.09}{p} \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

ただし, $-dq$: 増水ピーク流量の減少率 (%)

(増水量の減少の目安)

増水量の減少の程度も地文諸条件によっても左右されるので, 流域によって異なり, 厳密には一般的に示すことはできないが, 諸条件を厳密には考えないで流域がある程度乾いていたときのおおよその減少量を知る必要もあるので, その参考として, 単純に平均減少をみると, 釜淵0.75倍, 竜の口山0.49倍であった。もちろん個々の出水をとれば0.01~0.12倍程度にまで減少した場合もあった。

(増水ピーク流量の減少の目安)

個々の出水についてみれば, 0.02~0.08倍にまで減少したものもあったが, 単純に平均減少をみると釜淵0.65倍, 竜の口山0.47倍であった。

(増水量と一連続雨量の関係)

上述のように流域の初期乾湿条件をいちおう厳密には考えないで, 平均的に一連続雨量と増水量との関係をみた。この報告の資料の範囲では, 簡単にほぼ次式で示せると考えられた。厳密には, ある種の曲線たとえば2本の双曲線の組合わせから成る, S字状曲線であることが推定された。

$$r = 0.6979p - 8.84 \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

$$r = 0.4810p - 6.13 \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

ただし, r : 増水量 (mm)

また上式を認めると, 一連続雨量と平均増水流出率との関係は次式で示せることとなる。

$$Cr = \frac{p}{0.0141p + 0.26} \quad (\text{釜淵—2号沢})$$

$$Cr = \frac{p}{0.0204p + 0.40} \quad (\text{竜の口山—北谷})$$

ただし, Cr : 平均増水流出率 (%)

(h) 流出量変化の理由

山地流域における水循環の過程で, 森林が関与する水文学的現象はつぎのものである。

①霧滴の捕捉などによる増雨, ②植物体・落葉落枝による降水の一時保留と遮断, ③落葉・落枝や樹幹基部による地表流出の阻害と浸透の機会の増加, ④有機物の供給による土壌中小動物の生活活動と, 根系や有機物の存在による土壌浸透能および一時保水能の改善, ⑤蒸散による水の消費, ⑥林冠被覆による地面ならびに雪面蒸発の抑制, ⑦林冠被覆による融雪の抑制, ⑧積雪の仕方の変化。

さて、森林の除去に際して伐採・搬出作業にともない、地表が攪乱されて地表流出水の混濁の原因となる微粒子の生産が起こり、一方地表土壌の圧密化も起こり、落葉落枝や腐植による保水や土壌の浸透能、したがって保水能が減少され、いわゆる水みちができて地表流出水は伐採前より増加することが考えられ、これが増水量と増水ピーク流量を増加することは明らかである。

林冠が除去されると遮断量が減少することも明らかである。しかしわが国の場合、どこでも伐跡地にはかなりの低木・草が間もなく侵入してくるので、一部はその遮断におきかわるだけでもあるため、遮断量の減少は増水量と増水ピーク流量を増加することは確かであるが、伐採直後を除いてその程度は相対的に大きくないものと考えられる。

同様に、蒸散量が伐採により減少することも明らかであり、その量は大きい。やはり間もなく侵入してくる低木・草のそれに一部は置き代わるが、なおかなりの量が減少することになり、この分はとくに根系部位における土壌水分の増加となることがすでに多数の研究で明らかになっている。このことは、出水時の初期損失を少なくして、増水量と増水ピーク流量の増加の原因となる。

しかしながら、林冠が失なわれると、地表面は日射・気温・風などの蒸発支配要件の変動に直接ふれることとなり、これらの要件の厳しいとき、たとえば盛夏期には地表浅層土層ははなはだしく乾燥し、その土湿不足は伐採前より著しく大きくなる、すなわち初期損失を著しく大きくすることがありうる。このようなときに降雨があると、雨水のかんりの量が表層土の土湿不足を補うために消費され、前述のような遮断量の減少や、地表流出量の増加方向があるにもかかわらず、伐採前より増水量増水ピーク流量が減少することが起こるものと考えられた。

以上の現象とこれらの程度で、森林の伐採・除去後増水量・増水ピーク流量は増加あるいは減少し、かつそれらの量が決まることが釜淵・竜の口山の高水流量についての解析結果と、既往の土壌水分と植被に関する研究成果との関連づけなどから明らかにされた。

無降雨期の低水流量は森林の伐採・除去により増加したが、これは地面蒸発の増加と、土壌浸透能の悪化による減少方向への影響よりも、蒸散量の減少と春夏期蒸散減少による、秋期における土壌水分補強の増加の影響の方が強いためと考えられた。

積雪流域で積雪期間に起こる低水流量は森林の伐採・除去により増加したが、これは林冠除去による融雪の促進、秋期の土壌水分補強の増加および雪遮断量の減少のためと考えられた。

月流出量は、上述の増水量と低水流量のほぼ合計である。両者が、伐採後多くの場合増加するから、その合計量である月流出量は当然増加することとなる。

しかし、盛夏期などの蒸発条件が厳しく土湿不足が大きくなる時期には、月流出量の主要部分を占める増水量が減少するから、盛夏期に相当する月の流出量は減少となる。しかし地域によっては増加するが、その量はたいがい小さいものとなる。

融雪期の前期にあたる月の流出量が増加し、後期にあたる月の流出量が減少するのは、林冠被覆の除去により融雪がはやい時期に繰り上がるのが主たる原因と考えられた。

季節流出量・年流出量は月流出量の合計量であり、多くの月流出量が伐採後増加するから、これらが増加するのは当然であろう。

積雪流域における冬期流出量の増加は、秋期の土壌水分補強の増加と雪遮断量の減少によるほか流域によっては周囲の森林の伐採により、まわりから雪が吹き込むことによる積雪の増加によるものと考えられ

た。

以上から森林の伐採・除去による流出量の変化は蒸散量の変化とくに夏期（植物生育期）における変化、地表・表層土壌の浸透能の変化、地面蒸発の変化したがって出水の初期損失量の変化、遮断量の変化によって決まると考えられた。なお積雪流域では周囲の森林状態のいかんによっては、吹き込み雪による積雪の変化も重要となると考えられた。

(i) 年間流出の一様性

年流出量に占める豊水流出量・平水流出量・低水流出量・渇水流出量の割合のあり方で年間流出の一様性を表わすと、皆伐あるいはほとんど皆伐に近い伐採が完了したとき、多くの流域では豊水流出量の割合が小さくなり、低水流出量・渇水流出量の割合が大きくなって、この意味で一様性は向上した。

これと同様の傾向は Fernow 試験の結果でも認められており、このような一様性は伐採で向上するとしてよいかもしれない。

ただし積雪流域によっては、伐採による融雪促進の影響によって、一様性が低下する場合も考えられた。伐跡地への樹草の再生・発達とともに一様性はふたたび悪くなり、伐採前の状態に復帰していく傾向が明らかに認められた。

伐跡地に階段工が築設されたとき、皆伐で向上した一様性がさらに向上することが認められた。

択伐と溪岸再生林分の伐採の影響については、明らかにできなかった。

なお日流出量の年流出量の中における分散程度で表わす一様性は、皆伐後低下するとしてよいようである。

VII-4. 本研究の効果

前各項で総括した本研究の成果は、さらに今後森林の理水効果を定量的な面でいっそう明らかにしていく研究の展開に基礎を与えるとともに、当面水源涵養林の取扱いの改善や、一般施業林の国土保全的な取扱いの参考になるものと考えられる。

また以上の成果から、水の面で流域管理上望ましい森林の概念について、つぎのことが言えよう。

従来森林は治水機能を持つので、洪水防止にこれを活用すべきで、このために良い森林とは、多孔質な林地土壌や地床物を厚く保持する密な森林で、この意味でスギ・モミなどの陰性針葉樹、ブナなどの広葉樹、これらの混交林が適し、アカマツなどの陽性針葉樹、ある種の菌が繁殖して不浸透性の地床をつくりやすいカラマツ林や椎木薪炭林はあまり適当とはいえず、幼齡林・低木類は不適当と考えられてきた。

この根拠は森林の治水機能の重点は地床物により地表流出を阻害し、かつ微粒物質の移動を抑えて浸透の機会を多くし、一方永年にわたり土壌浸透能を改善し、維持して、直接流出量および流出ピークを小さくする方向に働くことにあったと考えられたからである。このことは重要である。

しかし本研究で、さらに直接流出量の減小には初期損失が重要であること、そして初期損失は森林の蒸散作用、林冠遮閉による地面蒸発や一部の水面蒸発の抑制によってかなり左右されることが知られた。初期損失が大きいかほど直接流出量ひいては洪水流量は小さくなるから、蒸散の多い森林すなわち根系の深い森林が適することになる。このことは浸透能に関しても合致するから、結果的には従来いわれていたことと同じである。しかし、直接流出に関しては表層土層の方が深い層よりも問題であることが多い。林地では林冠により表層土壌の水分が保持され、ここでは初期損失が小さくなる傾向がある。したがって、根の浅い植生すなわち低木・草が地表を密におおうことが望ましいことになる。

以上を総合して、概念的に言うと、洪水防止上望ましい森林とは根系のできる限り深い、地床物生産の多い樹種を上木とし、しかも低木・草ができるだけ密に地表をおおうような森林ということになる。これにより浸透土層は深くなり、水流障害は強くなり、しかも深層から表層まで蒸散による土壤水分消失が行なわれ、遮断量も多く、出水時の初期損失は大きいことになる。この結果、直接流出の量もピークも緩和される。しかもこのような森林は、表面侵食防止にも良く、崩壊防止にもときに効果のある森林と言えよう。

また、一方、古くから森林は水源涵養機能を持つので、これを河水の高度利用のために活用すべきであるとされた。前述のような洪水防止に適切な森林のもとでは、直接流出分が減少して、地下水流出分が増加し、無降雨時の湧水流出量が増加または維持されること、また低下した直接流出量とそのピーク流量は無降雨期流出分にふり向けられるため、年間流出の一様性が高くなり、利水に便となるためと考えられたからである。

たしかに、林地を崩壊跡地などのような極端な難浸透地表をもつ土地と比較すると、上述の意味で森林の効果は非常に大きなものと言ってよく、このことはきわめて重要で、洪水防止にも河水利用にも流域の地表をこのように荒廃してはならないことはきわめて明白である。しかしなんらかの植被があれば、その良否はともかくとしても、崩壊地よりは格段に浸透能は良く、植被のある土地では浸透能の違いも重要であるが、植生種別間の水消費量の差が重要な問題となることが、前各項で述べたとおり明らかである。

このため、大貯水池があって流出水の総量だけが問題となる場合には、植被による消失の減少方法だけが問題となり、この場合は一般に蒸散の少ない浅根性の樹種と低木・草から成る森林植被とし、貯水池を埋める土砂流出に関連して許される範囲まで生立密度を減じて蒸散損失を減らすことが望ましいことになる。

中・小貯水池を利用するが、自然の流れにかなり支配されて利用されるときは、需要期あるいは年間の最低流量かあるいは流出の一様性が利用効率を支配する。最低流量が問題となるときは大貯水池の場合のように、水消費の少ない森林が望ましくなり、一様性が問題となるときには、その期待する一様性の種類によって洪水防止の場合と同様な森林が望ましいこととなり、また大貯水池の場合のように、水消費の少ない森林が望ましいこともある。

たとえば、この報告でとりあげた一様性の改善には土壌の浅い積雪地方や、少雨乾燥地方ではできる限り水消費の少ない森林が望ましいと考えられる。少雨乾燥地方でため池などがあり、盛夏期間の各月流出量の増加がとくに必要なときは、地面蒸発の抑制につごうの良い一斉林（ただし浅根性樹種）が望ましいことになる。また積雪地方で早春期の流出量が必要なときは落葉広葉樹林が望ましく、針葉樹林のときは生立密度の少ないことが望ましいことになる。

この報告の成果の一部は、つぎのことにも参考となろう。すなわち、古く、瀬戸内地方の農業用ため池の水を確保するためにはその流域の森林を保持する必要があるとする意見と森林は水の消費者であるから疎開する必要があるとする意見が対立したことがある。前述の成果ではたしかにため池の年流入量や冬期流入量については森林が無い方が多く得られることになるが、春期および盛夏期の各月流出量を多く得たいときは森林があった方がよいことになる。ことに夏期に少雨で乾燥した年ではこのことがいえよう。上記の意見の対立については、時期についての前提が必要であったことが知られた。

また水害時に、伐採流域にもかかわらず意外に洪水流量が小さいことがあり、論議的となったことがあるが、このような時は出水直前の流域の乾湿条件、言いかえれば、先行気象条件が考慮に入れられねばならないことが、この報告の成果から明らかにされた。

林地流域における水循環は森林植被を含む地文条件と気象条件の組み合わせによって決まる。したがって地域によって異なる。また流域からの水の流出という面から森林をみると、水の消費者であると同時に生産者の面も持ち、時間的分布の調節者でもある。一方社会は、洪水防止と河水の高度利用を同時に願ひ、さらに山地荒廃の防止をも同時に望んでいる。これらの事情を知って森林の効果を活用しようとするときは、地域ごとに主たる目的と従たる目的の選別が行なわれ、これに応じた森林の種類とその取扱い法の選択がなされねばならないこと、どの目的に対しても、たとえば、単にうっそうたる森林を保持すれば良いということではなく、生態学的に適切な範囲で人為的・技術的な取扱いがなされねばならないことが理解される。

文 献

- 1) ANDERSON, H. W. and H. K. TROBITZ : Influence of some watershed variables on a major floods. *Journal of Forestry*, 47, 347~356, (1949)
- 2) BANKS, C. H. and C. KROMHOUT : The effect of afforestation with *Pinus radiata* on summer baseflow and total annual discharge from Jonkershoek catchments. *Forestry in South Africa*, 3, 43~65, (1963).
- 3) BATES, C. G. and A. J. HENRY : Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. *United States Monthly Weather Review, Supplement* 30, 1~79, (1928)
- 4) BATES, C. G. and A. J. HENRY : Second phase of streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. *United States Monthly Weather Review*, 56, 3, 79~97, (1928).
- 5) BETHLAHMY, N. : First year effects of timber removal on soil moisture. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 7, 2, 34~38, (1962)
- 6) BISHOP, D. M. : Soil moisture depletion in three lodgepole pine stands in northeastern Oregon. *Pacific North West Forest and Range Experiment Station, Research Note*, 213, 2 pp., (1961)
- 7) BRATER, E. F. : The unit-hydrograph principle applied to small watersheds, *Proceedings, American Society of Civil Engineers*, 65, 1191~1215, (1939)
- 8) BURKE, M. F. : Rainfall on and runoff from San Gabriel Mountains during flood of March, 1938. *Transaction, American Geophysical Union, Part 1*, 8~15, (1939)
- 9) California Forest and Range Experiment Station : Some aspects of watershed management in southern California. *Miscellaneous Paper*, 1, 29 pp., (1951)
- 10) COLTHARP, G. B. : Some effects of a commercial-type clearcut on soil and water relation on a small wooded watershed. *Dissertation Abstracts*, 21, 1, p. 12, (1960)
- 11) CRAWFORD, N. H. and R. K. LINSLEY : Digital simulation in hydrology-Stanford watershed model IV. *Department of Civil Engineering, Stanford University, Technical, Report*, 39, 210 pp., (1966)
- 12) CROFT, A. R. : A water cost of runoff control. *Journal of Soil and Water Conservation*, 5, 13~15, (1950)
- 13) CROFT, A. R. and L. V. MONNINGER : Evaporation and water losses on some aspen forest

- types in relation to water available for streamflow. Transactions, American Geophysical Union, 34, 4, 563~574, (1953)
- 14) DELFS, J. and others : The influence of forests and clear fellings on runoff, the water economy and soil erosion. English Abstract in Forestry Abstracts, 20, 2, p. 181, (1959)
 - 15) DELLA-BIANCA, L. and R. E. DILS : Some effects of stand density in a red pine plantation on soil moisture, soil temperature, and radial growth. Journal of Forestry, 58, 373~377, (1960)
 - 16) DILS, R. E. : A guide to the Coweeta Hydrologic Laboratory. Southeastern Forest Experiment Station, United States Forest Service, 40 pp., (1957)
 - 17) DOUGLASS, J. E. : Soil moisture distribution between trees in a thinned loblolly pine plantation. Journal of Forestry, 58, 221~222, (1960)
 - 18) DUNFORD, E. G. and P. W. FLETCHER : Effect of removal of streambank vegetation upon water yields. Transactions, American Geophysical Union, 28, 105~110, (1947)
 - 19) EATON, E. C. : Flood and erosion control problems and their solution. Transactions, American Society of Civil Engineers, 101, 1302~1330, (1936)
 - 20) 遠藤泰造・勝見精一・高田岩次 : 冬期渇水期間の流出について, 林業試験場北海道支場年報(1959), 126~133, (1960)
 - 21) 遠藤泰造・勝見精一・鶴田武雄 : 出水におよぼす森林伐採の影響について, 林業試験場北海道支場年報 (1960), 150~165, (1961)
 - 22) 遠藤泰造・勝見精一・舟木敏夫 : 夏期間の流出におよぼす伐採の影響について, 林業試験場北海道支場年報 (1960), 181~214, (1961)
 - 23) ESCHNER, A. R. : Effect of scrub oak and associated ground cover on soil moisture. Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper, 133, 16 pp., (1960)
 - 24) ESCHNER, A. R. : Forest protection and streamflow from an Adirondack watershed, ph. D. thesis, State College of Forestry, Syracuse, New York, 209 pp., (1965)
 - 25) 福田秀雄・岡本金夫 : 北谷溪岸伐採の影響による流量, 林業試験場関西支場年報(昭和37年度), 4, 99~102, (1963)
 - 26) 福田秀雄・小林忠一・小林治子 : 工法別流下水量比較試験, 林業試験場関西支場年報(昭和37年度), 同 (昭和38年度), 同 (昭和39年度), 103~104, 108~109, 93~95, (1963), (1964), (1965)
 - 27) Forest Service, United States Department of Agriculture : Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1965 Annual Report, p. 26, (1966)
 - 28) FRASER, D. A. : Annual and seasonal march of soil moisture under a hardwood stand. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources, Forest Research Division, Technical Note, 55, 25 pp., (1957)
 - 29) GAISER, R. N. : Readily available water in forest soils. Proceedings, Soil Science Society of America, 16, 334~338, (1952)
 - 30) GOODELL, B. C. : A preliminary report on the first year's effects of timber harvesting on water yield from a Colorado watershed. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Station Paper, 36, 12 pp., (1958)
 - 31) HARDWAY, G. D. and J. R. THOMPSON : A study of water yield from the Santa Fe river watershed. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Station Paper, 70, 18 pp., (1962)
 - 32) HARROLD, L. L., D. L. BRAKENSIEK, J. L. MCGUINNESS and others : Influence of land use and treatment on the hydrology of small watersheds at Coshocton, Ohio. 1938~1957, United

- States Department of Agriculture, Technical Bulletin, 1256, 194 pp., (1962)
- 33) HELVEY, J. D. and J. D. HEWLETT : The annual range of soil moisture under high rainfall in the Southern Appalachians. *Journal of Forestry*, 60, 485~486, (1962)
- 34) HEWLETT, J. D. and A. R. HIBBERT : Increase in water yield after several types of forest cutting. *Quarterly Bulletin of International Association of Scientific Hydrology*, 5~17, (1961)
- 35) HIBBERT, A. R. : Forest treatment effects on water yield. *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, England, 527~543, (1967)
- 36) HIRATA, T. : Contributions to the problem of the relation between the forest and water in Japan. *The proceedings of the International Congress of Forestry Experimental Stations*, Stockholm, 41 pp., (1929)
- 37) 平田徳太郎 : 森林と水源涵養, 興林会叢書, 第12輯, 興林会, 59 pp., (1934)
- 38) HOOVER, M. D. : Effect of removal of forest vegetation upon water yields. *Transactions, American Geophysical Union*, Part 6, 969~975, (1944)
- 39) HOOVER, M. D., D. F. JR. OLSON and G. E. GREENE : Soil Moisture under a young loblolly pine plantation. *Proceedings, Soil Science Society of America*, 17, 2, 147~150, (1953)
- 40) HOOVER, M. D., L. J. METZ and D. F. JR. OLSON : Soil sampling for pore space and percolation. *Southeastern Forest Experiment Station, United States Forest Service, Paper 42*, 28 pp., (1954)
- 41) HOPKINS, W., J. BENTLEY and R. RICE : Research and a land management model for southern California watersheds. *Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, United States Forest Service, Miscellaneous Paper*, 56, 12 pp., (1961)
- 42) HOYT, W. G. and H. C. TROXELL : Forests and stream flow. *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 1858, 1~111, (1932)
- 43) HURSH, C. R., M. D. HOOVER and P. W. FLETCHER : Studies in the balanced water economy of experimental drainage-areas. *Transactions, American Geophysical Union*, Part II, 509~517, (1942)
- 44) JOHNSON, E. A. and J. L. KOVNER : Effect on streamflow of cutting a forest understory. *Forest Science*, 2, 2, 82~91, (1956)
- 45) JOHNSON, E. A. and H. G. MEGINNIS : Effect of altering forest vegetation on low flows of small streams. *Extract of Publication No. 51 of the International Association of Scientific Hydrology, Commission of Surface Waters*, 257~266, (1960)
- 46) JOHNSTON, D. and W. P. CROSS : *Elements of applied hydrology*. The Ronald Press Co., New York, 275 pp., (1949)
- 47) 金田健之助・松沢政雄 : 低水流出量の推定に関する研究・河川流域における水収支機構に関する総合研究 (中間報告書), 科学技術庁研究調整局, 203~218, (1966)
- 48) 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, 139~148, (1956)
- 49) 川畑幸夫編著 : 応用気象学大系 第 1 巻, 水文気象学, 地人書館, 東京, p. 246, 266 pp., (1961)
- 50) KITTREDGE, J. : *Forest influences*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 394 pp., (1948)
- 51) KOSHI, P. T. : Soil moisture trends under varying densities of oak overstory. *Southern Forest Experiment Station, United States Forest Service, Occasional Paper*, 167, 12 pp., (1959)
- 52) KOVNER, J. L. and T. C. EVANS : A method for determining the minimum duration of

- watershed experiments. Transactions, American Geophysical Union, **35**, 4, 608~612, (1954)
- 53) KOVNER, J. L.: Evapotranspiration and water yields following forest cutting and natural regrowth. Proceedings, Society of American Foresters, 106~110, (1956)
- 54) LEIGHTON, M. O.: Flood, National conservation Committee, Report 2, 95~107, (1909)
- 55) LIEBERMAN, J. A. and P. W. FLETCHER: Further studies of the balanced water cycle on experimental watersheds. Transactions, American Geophysical Union, **28**, 3, 421~424, (1947)
- 56) LIEBERMAN, J. A. and M. D. HOOVER: Streamflow frequency changes on Coweeta experimental watersheds. Transactions, American Geophysical Union, **32**, 1, 73~76, (1951)
- 57) LOVE, L. D.: The effect on streamflow of the killing of spruce and pine by the Engelmann spruce beetle. Transactions, American Geophysical Union, **36**, 1, 113~118, (1955)
- 58) LULL, H. W. and J. H. AXLEY: Forest soil moisture relations in the coastal plain sands of southern New Jersey. Forest Science, **4**, 1, 2~19, (1958)
- 59) LULL, H. W. and P. W. FLETCHER: Comparative influence of hardwood trees, litter, and bare area on soil moisture regimen. University of Missouri, College of Agriculture, Research Bulletin, 800, 15 pp., (1962)
- 60) LULL, H. W. and W. E. SOPPER: How harvesting forest products affects water yields in Appalachia. Proceedings of the Society of American Forests Meeting at Detroit, Michigan, 108~112, (1965)
- 61) LULL, H. W.: Management for water production on municipal watersheds. Proceedings of the Fifth World Forestry Congress, University of Washington, Seattle, Washington, 1686~1690, (1960)
- 62) MARSTON, R. B.: Influence of vegetation cover on soil moisture in southeastern Ohio. Proceedings, Soil Science Society of America, **26**, 6, 605~608, (1962)
- 63) MARTINELLI, M., JR.: Watershed management in the Rocky mountain alpine and sub-alpine zones. Rocky Mountain Forest Experiment Station, United States Forest Service, Research Note, RM-36, 7 pp., (1964)
- 64) 丸山岩三・猪瀬寅三: 釜淵森林理水試験第1回報告, 林試研報, **53**, 1~41, (1952)
- 65) 丸山岩三・根田和男: 釜淵森林理水試験第2回報告, 地下水によると認められる減水について, 林試研報, **68**, 123~132, (1954)
- 66) MERRIAM, R. A.: Saving water through chemical brush control. Journal of Soil and Water Conservation, **16**, 2, 84~85, (1961)
- 67) METZ, L. J. and J. E. DOUGLASS: Soil moisture depletion under several piedmont cover types. United States Department of Agriculture, Technical Bulletin, 1207, 23 pp., (1959)
- 68) MOYLE, R. C. and R. ZAHNER: Soil moisture as affected by stand conditions. Southern Forest Experiment Station, United States Forest Service, Occasional Paper, 137, 14 pp., (1954)
- 69) 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)
- 70) 中野秀章・大滝 勇: 竜の口山水源涵養試験第3回報告, 林試研報, **44**, 31~61, (1950)
- 71) 中野秀章・菊谷昭雄: 森林伐採と融雪, 日本林学会誌, **38**, 8, 314~316, (1956)
- 72) 中野秀章・森沢万佐男・菊谷昭雄: 林況変化が溪川流出におよぼす影響の double-mass analysis による解析, 日本林学会誌, **42**, 1, 10~17, (1960)

- 73) 中野秀章・菊谷昭雄・森沢万佐男：林況変化，とくに伐採が溪川流出に及ぼす影響(I)―水年・豊水・平水・低水・渇水各流出量への影響，林試研報，156，1～84，(1963)
- 74) 中野秀章・菊谷昭雄：林況変化，とくに伐採が溪川流出に及ぼす影響(II)―1連続降雨による増水量および増水ピーク流量への影響，林試研報，170，1～58，(1964)
- 75) 中野秀章・森沢万佐男・平 和敬・菊谷昭雄：洪水比流量と流域条件との関係，第75回日本林学会大会講演集，486～488，(1965)
- 76) 中野秀章：山地水文，水資源ハンドブック，朝倉書店，東京，38～39，(1966)
- 77) NAKANO, H.: Effects of changes of forest conditions on water yield, peak flow and direct runoff of small watersheds in Japan, International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, England, 551～564, (1967)
- 78) 難波宣士：森林の治山治水機能，全国林業改良普及協会，東京，79 pp., (1958)
- 79) 野口陽一：森林の流量調節作用表示式に対する統計的検討，演習林報告，39，135～141，(1951)
- 80) 野口陽一：森林と比流量との関係式，資源調査会森林部会資料(未定稿)，16，17 pp., (1957)
- 81) 野口陽一：森林量水試験の方法論的研究，演習林報告，57，65～135，(1962)
- 82) 野口陽一：森林の影響，地球出版株式会社，東京，223 pp., (1963)
- 83) 農林省林業試験場：森林理水試験地観測報告(日降水量・日流出量)，農林省林業試験場，東京，225 pp., (1961)
- 84) 農林省林業試験場：農林省林業試験場年報，昭和 36，37，38，39，40，41年度，61～62，96～97，p.100，112～113，120～121，p.128，(1963，1964，1964，1965，1966，1967)
- 85) 萩原貞夫・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，20，1～8，(1944)
- 86) OGIHARA, S.: Integral method of representing streamflow controlling function of watershed and its application. The Bulletin of the Tokyo University Forests, 39, 123～134, (1951)
- 87) 小野茂夫：森林皆伐跡地の荒廃と階段工の治山・治水機能，蒼林，154，2～10，(1962)
- 88) 小野茂夫・川口利次：釜淵森林理水試験第3回報告，山腹切取階段工の理水機能，林試研報，198，171～184，(1967)
- 89) 小野茂夫・川口利次：森林伐採が積雪からの流出に及ぼす影響，昭和41年度林業試験場東北支場年報，8，204～211，(1967)
- 90) Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, United States Forest Service : Annual Report (1959), (1963); Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, United States Forest Service ; 49～50, p.59 ; (1960), (1964)
- 91) PASE, C. P. and P. A. INGEBO : Burned chaparral to grass, early effects on water and sediment yields from two granitic soil watersheds in Arizona. Proceedings of the Arizona Watershed Symposium, 8～11, (1965)
- 92) PEREIRA, H. C.: Hydrological effects of changes in land use in some South African catchment areas. East Africa Agriculture and Forestry Journal, Special Issue, 27, 131 pp., (1962)
- 93) REINHART, K. G. and A. R. ESCHNER : Effect on streamflow of four different forest practices in the Allegheny Mountains. Journal of Geophysical Research, 67, 6, 2433～2445, (1962)
- 94) REINHART, K. G., A. R. ESCHNER and G. R. TRIMBLE, Jr.: Effect on streamflow of four forest practices in the mountains of West Virginia. United States Forest Service, Research Paper, NE-1, 79 pp., (1963)
- 95) RICH, L. R.: Watershed management research in the mixed conifer type. In watershed management research in Arizona, Progress report 1959, Rocky Mountain Forest and Range

- Experiment Station, United States Forest Service, 7~16, (1959)
- 96) RICH, L. R., H. G. REYNOLDS and J. A. WEST: The Workman creek experiment station, 18 pp., (1961)
- 97) RICH, L. R.: Water yields resulting from treatment applied to mixed conifer watersheds. The proceedings of the Arizona Watershed Symposium, 12~15, (1965)
- 98) Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: Annual Report 1958, 1962, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, United States Service; 129 pp., p.19; (1959), (1963)
- 99) ROTHACHER, J.: Streamflow from small watersheds on the western slope of the Cascade Range of Oregon, Water Resources Research, 1, 1, 125~134, (1965)
- 100) ROWE, P. W. and E. A. COLMAN: Disposition of rainfall in two mountain areas in California, United States Department of Agriculture, Technical Bulletin, 1048, 84 pp., (1951)
- 101) ROWE, P. W. and L. F. REIMANN: Water use by brush, grass and grass-forb vegetation. Journal of Forestry, 59, 175~181, (1961)
- 102) ROWE, P. B.: Streamflow increase after removing woodland-riparian vegetation from a southern California watershed. Journal of Forestry, 61, 365~370, (1963)
- 103) 桜井莊三: 山林と渇水・山林と洪水, 山林, 605, 28~33, (1933)
- 104) 桜井莊三: 愛知県演習林における流出量測定結果について (予報), 演習林報告, 25, 33~61, (1937)
- 105) 佐藤 正・村上与助・村井 宏・関川慶一郎: 新しい型の山地滲透計による測定成績 (第1報, 第2報), 林試研報, 83, 99; 39~64, 25~57; (1956, 1957)
- 106) SCHNEIDER, J. and G. R. AYER: Effect of reforestation on streamflow in central New York. United States Geological Survey, Water Supply Paper, 1602, 61 pp., (1961)
- 107) SEARCY, J. K.: Flow-duration curves. United States Geological Survey, Water Supply Paper, 1542 A, 33 pp., (1959)
- 108) 四手井綱英・菅原敬二・片岡健二郎: 有無林地表層土の含水量変化に就て (1報), 林業試験集報, 60, 31~43, (1951)
- 109) 白井純郎・近藤松一・大原忠一: 伐採前後における流量変化, 林業試験場京都支場業務報告, 1, 276~335, (1952)
- 110) 白井純郎・近藤松一・大原忠一: 竜の口山水源涵養試験第4回報告, 伐採による流量変化の総合的考察, 林試研報, 68, 95~117, (1954)
- 111) 白井純郎・星川吉之助: 竜の口山水源涵養試験第5回報告, 主として最大流量の林相別比較について, 林試研報, 124, 105~154, (1960)
- 112) 白沢保美: 水源涵養の弁, 林学会雑誌, 15, 3, 39~47, (1933)
- 113) SINCLAIR, J. D. and E. L. HAMILTON: A guide to the San Dimas experimental forest. California Forest and Range Experiment Station, 19 pp., (1953)
- 114) SKAU, C. M.: Soil water storage under natural and cleared stands of Alligator and Utah juniper in northern Arizona. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, United States Forest Service, Research Note, RM-24, 3 pp., (1964)
- 115) Southeastern Forest Experiment Station: Watershed management research, Coweeta Experimental Forest. Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 46 pp., (1948)
- 116) Southeastern Forest Experiment Station: Coweeta Hydrologic Laboratory, Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 8 pp., (1957)

- 117) Southeastern Forest Experiment Station : Annual Report for 1960. Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture, 74 pp., (1961)
- 118) SPAETH, J. N. and C. H. DIEBOLD : Some interrelationships between soil characteristics, water tables, soil temperature, and snow cover in the forest and adjacent open areas in south central New York. Agriculture Experiment Station Mem., 213 pp., (1938)
- 119) STOECKELER, J. H. and W. R. CURTIS : Soil moisture regime in southwestern Wisconsin as affected by aspect and forest type. Journal of Forestry, 58, 892~896, (1960)
- 120) 水利科学研究所編：水文学大系第 6 卷, 生活用水と水源林, 水利科学研究所, 東京, 259 pp., (1962)
- 121) 高橋敏男：山岳水源地からの出水, 赤川洪水調節に関する水理気象学的研究, 昭和33年度報告, 山形県治山治水総合調査協議会, 7~22, (1959)
- 122) 玉木廉士・近藤松一・小林忠一・小林治子：工法別地表流下水量測定試験, 林業試験場関西支場年報 (昭和34年度), 1, 農林省林業試験場関西支場, 8~9, (1960)
- 123) 玉木廉士・小林忠一：工法別地表流下水量測定試験, 林業試験場関西支場年報 (昭和35年度), 2, 農林省林業試験場関西支場, p.11, (1961)
- 124) 玉木廉士・小林忠一・小林治子：工法別流下水量比較試験, 林業試験場関西支場年報 (昭和36年度) 3, 農林省林業試験場関西支場, 113~114, (1962)
- 125) 玉手三葉寿：有林地と無林地とにおける水源涵養比較試験, 林業試験報告, 23, 63~100, (1923)
- 126) 玉手三葉寿：土壌水分と森林及気象要素との関係ニ就テ, 森林治水気象彙報, 12, 41~79, (1932)
- 127) 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)
- 128) 武田京一：林地雨量について, 気象集誌, 29, 6, 199~212, (1951)
- 129) 武田進平：溪流における最大流量におよぼす森林の効果に就て, 新砂防, 9, 1~4, (1952)
- 130) Tennessee Valley Authority : Forest cover improvement influences upon hydrologic characters of White Hollow watershed. 1935~1958., Tennessee Valley Authority, 104 pp., (1961)
- 131) Tennessee Valley Authority : Reforestation and erosion control influences upon the hydrology of the Pine Tree Branch watershed. 1941 to 1960., Tennessee Valley Authority, 98 pp., (1962)
- 132) TEW, R. K. : Soil moisture depletion by Gambel oak in northern Utah. Intermountain Forest and Range Experiment Station, United States Forest Service, Research Note, INT-54, 7 pp., (1966)
- 133) THAMES, J. L., J. H. STOECKELER and R. TOBIASKI : Soil moisture regime in some forest and non-forest sites in northern Wisconsin. Proceeding, Soil Science Society of America, 19, 381~384, (1955)
- 134) THORNTHWAITE, C. W. and J. R. MATHER : The water balance, Drexel Institute Technical Climatology Laboratory, Publication Climatology VIII, 1, 104 pp., (1955)
- 135) 塚本良則：山地流域内に起こる水文現象の解析, 東京農工大学農学部 演習林報告, 6, 1~79, (1966)
- 136) VEIHMEYER, F. J. and C. N. JOHNSTON : Soil moisture records from burned and unburned plots in certain grazing areas of California. Transactions, American Geophysical Union, Part 1, 72~84, (1944)
- 137) WICHT, C. L. : A preliminary account of rainfall in Jonkershoek. Transactions, Royal Society of South Africa, 28, 2, 161~173, (1940)
- 138) WICHT, C. L. : Determination of the effects of watershed management on mountain streams. Transactions, American Geophysical Union, Part 2, 594~608, (1943)

- 139) WICHT, C. L.: The effects of timber plantation on water supplies in South Africa. Symposium on Water and Woodlands, 9 pp., (1959)
- 140) WICHT, C. L.: The validity of conclusions from South African multiple watershed experiments. International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, England, 749~760, (1967)
- 141) WILM, H. G. and E. G. DUNFORD: Effect of timber cutting on water available for streamflow from a lodgepole pine forest. United States Department of Agriculture, Technical Bulletin, 968, 43 pp., (1948)
- 142) ZAHNER, R.: Soil water depletion by pine and hardwood stands during a dry season, Forest Science, 1, 4, 258~264, (1955)
- 143) ZAHNER, R.: Hardwood understory depletes soil water in pine stands. Forest Science, 4, 3, 178~184, (1958)
- 144) ZINKE, P. J.: The influence of a stand of *Pinus coulteri* on the soil moisture regime of a large San Dimas lysimeter in southern California. International Association of Scientific Hydrology, Publication 49, 126~138, (1959)
-

Effect on Streamflow of Forest Cutting and Change in Regrowth on Cut-over Area

Hidenori NAKANO⁽¹⁾

Summary

1. Introduction

To clarify the effects on streamflow of clearcutting, selection cutting, and change in regrowth and terracing on the cut-over area, some analyses have been made for the long-term hydrological data obtained from four Experimental Sites, Government Forest Experiment Station, and Wagon Wheel Gap Experimental Forest, Colorado, U. S. A. The results were examined and compared with those obtained from many other experiments.

2. Description of experimental watershed

The outlines of watersheds used here are as follows (Table 1, Fig. 2~6):

Kamikawa-Kitatani (K.-K.) is one of four experimental watersheds of Kamikawa Experimental Site, Hokkaido Branch Station, which is located in the headwater basin of the Ishikari river in the central part of Hokkaido.

The 645-hectare watershed, underlain by rock strata composed mainly of Mesozoic and Paleozoic formation and granite, has a relatively steep slope partially, but deep soil for a considerable part. Annual precipitation averaged about 1,450 millimeters, about 35 per cent coming as snow during the period from November through the first 10 days of April.

Received March 28, 1971

(1) Forest Influences Division

Kamabuchi-No. 2 (K.-2), which is located in Yamagata prefecture in the headwater of the Mogami river, is a small basin 2.48 hectares in area, tuff and shale tuff in geology, relatively steep slope and shallow soil. Annual precipitation averaged about 2,600 millimeters with about 40 per cent as snowfall during the period from December through March.

Takaragawa-Shozawa (T.-S.), which is in Gunma prefecture in the headwater of the Tone river, is a 118-hectare watershed with steep topography underlain with granite and tertiary for the most part. Annual precipitation averaged about 2,150 millimeters of which 40 per cent is snow during the period from November through April, at a spot near the water level gaging station where the lowest precipitation in the basin had always been measured during the experimental term.

Tatsunokuchiyama-Minamitani (T.-M.) and Kitatani (T.-K.), which are in Okayama prefecture in the mid-stream basin of the Asahi river, are small watersheds of about 23 and 17 hectares in area, respectively, having relatively deep soil underlain with Paleozoic strata and quartz porphyry.

Wagon Wheel Gap-B (W.-B) is a watershed with quartz trachyte in geology, about 80 hectares in area, on which annual precipitation averaged about 500 millimeters including about 50 per cent snow from October through March.

3. Streamflow facets analyzed

The results with treatment were analyzed in connection with their effect on the following facets of streamflow; namely, the total discharge by water year, summer (growing) and winter (dormant) seasons, snowdrifting and snowmelting periods, and months; annual and seasonal runoffs as a percentage of precipitation; plentiful, ordinary, low and scanty runoffs, and percentages of these four runoffs to annual runoff; quickflow and peak discharge.

Annual runoff is the total discharge through a water year, and the year adopted was the so-called practical water year, so as to simplify comparison with the result from the past one.

The following data were found on the water year.

In this paper, the practical water year was divided at the time just before the beginning of snowdrifting for the snowfall watershed, and the calendar year itself adopted for the no snow basin.

Judging from the basis of the correlation between annual precipitation and annual runoff, the practical water year was not necessarily worse than the other kind of water year (Fig. 7).

Since the correlation seems to be mainly regulated by timing of snowdrifting and snowmelting and distribution of soil moisture in time, and a water year must be properly divided into the season—summer and winter, it would seem that the better water year is the period May to April in the no snow area and the region where snowmelting may be over by the end of April, and for other snowfall regions the period June to May or the period July to June according to the time when snow disappears.

All daily runoffs through a water year were rearranged in order of amount, and in the daily runoff series the sum total of runoffs for 50, 85, 90 and 140 (141) days accumulated successively from the smallest one were respectively defined as scanty, low, ordinary and plentiful runoffs (Fig. 8). These numbers of days were obtained by dividing into halves the interval period between each day of droughty or scanty, low-water, ordinary-water, and ninety-

five-days or plentiful-water discharge developed for the river survey practice.

The said definition could be helpful in ascertaining the uniformity of streamflow, high and low streamflow in a certain sense, and thus to get the temporary standard of the effect of forest vegetation on these streamflow regimen.

It was made also to define the ratios of plentiful, ordinary, low and scanty runoffs as a percentage of annual runoff to examine the uniformity of streamflow, and the annual, plentiful, ordinary, low, and scanty runoff percentage (coefficients) as the percentage of annual precipitation too.

The water year has been divided in two seasons—summer (growing) and winter (dormant)—for detecting the seasonal effect of forest treatment on streamflow, based on activity of vegetation and snowmelting; moreover winter season has been divided into the snowdrifting and snowmelting seasons (Table 2). The summer or winter season runoff percentages were also defined as a per cent of the precipitation for summer or winter seasons respectively.

To investigate the effect of change in vegetation on high streamflow, quickflow was defined as a volume of discharge subtracting the base flow from total discharge during stormflow period between the time water level began to rise and the time when the hydrograph receded to an initial stage (Fig. 13). The base flow was obtained as the product of the time of stormflow period and the discharge corresponding to initial water level at the time water level began to rise. The peak discharge in an instantaneous flow corresponding to the highest stage in hydrograph for stormflow period (Fig. 13).

4. Watershed treatment

Alternation of forest vegetation by treatment during experimental period on each watershed were as follows (Table 1):

K.-K.: The forest was originally a subfrigid forest consisting of coniferous trees (40 per cent) including Ezomatsu (*Picea jezoensis*), Todomatsu (*Abies sachalinensis*), etc. and broad-leaved trees (60 per cent) including Mizunara (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*), Dakekanba (*Betula Ermanii*), Shinanoki (*Tilia japonica*), etc., with dense undergrowth.

A typhoon broke down 80 to 90 per cent of the stand on the watershed, which originally had been a control watershed, in September 1954. Most of the trees were damaged by uprooting and breaking of trunk, and the soil surface was severely disturbed. Stands on area adjacent to the stream channel were not damaged. After a year, a skidroad was constructed and most logging was carried out by 1957. In 1958 the surviving riparian stand was removed too. Since 1957 a dense regrowth has developed.

K.-2: The hardwood stand consisted mainly of Mizunara and Buna (*Fagus crenata*), which included the artificial forests comprised of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) as a group, with dense undergrowth.

All trees on the watershed were felled and removed during the period December 1947 to April 1948. The regrowth was controled during the period from 1949 to 1952 by recutting in June and September every year, and the period from 1953 to 1958 by burning in April or early in May each year.

In September 1960 contour-terracing was constructed all over the area and the seedling of Sugi planted on the terrace. After then weeding was carried out every summer.

T.-S.: The forest was the natural one consisting mainly of Buna, Hiba (*Thujaopsis*

dolabrata) and Himekomatsu (*Pinus parviflora*), etc., in which broad-leaved trees were dominant on 80 per cent of the area and coniferous trees on the remaining 20 per cent, with dense undergrowth.

All merchantable trees were cut as a group by 50 per cent of the area over a 5-year period beginning in 1948. After that the regrowth was allowed.

T.-M.: The forest was the natural one of Akamatsu (*Pinus densiflora*) with an artificial young stand of Hinoki in a small part of the area. Under the sparse pine stand, undergrowth was dense.

After damage from insects, all pine trees were felled and removed in November 1944 through June 1945. The cut-over area was left and the regrowth grew over 8 years. From then on, weeding and planting of Hinoki and others was part by part carried out over 5 years.

In September 1959 a fire burnt out nearly all vegetation on the whole basin.

On the burn, Kuromatsu (*Pinus Thunbergii*) was planted on the entire area over 4 years, and a young stand was realized by 1964.

T.-K.: The initial forest was a natural stand of Akamatsu with a little artificial stand of Hinoki in one part and dense vegetal cover.

After an insect pest attack similar to that in T.-M., all pine trees were cut and removed from spring of 1945 through summer of 1947. Subsequently, the cut-over area being left as it was, regrowth grew up and a coppice stand comprised of Akamatsu and various kinds of broad-leaved trees developed by 1963.

In October, 1964, the riparian stand along the main stream channel was cut and removed, and cuttings were added next year.

This basin originally was a control one for T.-M. as a treatment watershed, but the blight compelled the removal of pine trees.

W.-B.: Secondary forest on the burn, consisting mainly of Douglas fir, Engelmann spruce, Aspen with bare land 10 per cent in area, was cut during summer of 1919 except a small riparian part. The remaining riparian stand was removed the following year and all materials resulted from cutting were piled and burnt.

By 1926 sprouts of Aspen had developed a young stand.

The watershed treatment, after all, which was adopted as the subject of the study, comprised the removal of mature forest and development regrowth on the cut-over area, also the control of regrowth by continuous recutting (weeding) or forest fire, planting, removal of riparian regrowth stand and construction of terracing on the cut-over area.

5. Method of analysis

At first, the regression relations, assuming these to be linear ones, were developed between the said streamflow factors and corresponding runoff factors of the control watershed, in some cases compounded with some climatic factors; and a climatic factor or complex ones in the case of no control watershed, from data in the calibration period of each experiment.

Assuming that the linear regressions could be applied in the treatment period if there had been no treatment—that is, if the forest had been still present, the predicted or expected values of the said streamflow factors during treatment period were computed by using the

regression equation, and compared with the measured values from gaging record. The difference between the two values was considered to correspond to the effect of change in the forest vegetation on streamflow.

Examining the annual coincidence between the difference and vegetation and climatic conditions respectively, direction and magnitude of changes in every streamflow phase resulted from the alternation of vegetation and climatic condition; furthermore, the reason for which change in streamflow occurred, was studied.

Before the regression analysis, close examination was made to detect the assumption on the natural change in forest condition due to growth during the treatment period as well as that on the mathematical process of analysis. And confidence limit of expected value was given.

6. Data of streamflow and climate

Streamflow data were obtained as follows:

On K.-K., stream channel was adjusted with concrete wall at the downstream end of which rectangular notch was attached. Continuous record of water level (H) in centimeters was observed by water level recorder, and discharge (Q) in cubic meters per second was computed by the equation: $Q = 3.130 \times 10^{-3} \times H^{1.549}$

The small concrete basin with 45-degree V-notch attached water level recorder was installed in stream on K.-2 and K.-1 as a control watershed equally. Discharge in litres per second was given by the equation: $Q = 9.254 \times 10^{-3} \times H^{2.293} (H \leq 6)$, $Q = 6.910 \times 10^{-3} \times H^{2.449} (H > 6)$.

Stream on T.-S. was checked with concrete weir, and on the weir seven rectangular notches were attached. Continuous water level was measured by the recorder. Gage height — discharge equation was $Q = \{(0.01B + 4.5)/(16.44 \log H + 30.56) + 0.3\} \sqrt{2g} BH^{\frac{3}{2}}$, where Q : discharge in cubic meters per second, B : width of notch in centimeters, g : acceleration of gravity. On Takaragawa-Honryu (T.-H.), concrete channel with rectangular section and water level recorder was used for continuous measurement of water level. Discharge was turned from gage height by the equations: $Q = (0.032 - 0.047/\sqrt{H})H^{\frac{3}{2}} (H \leq 9.1)$, $Q = (0.056 - 0.122/\sqrt{H})H^{\frac{3}{2}} (H \leq 33.4)$, $Q = (0.049 - 0.080/\sqrt{H})H^{\frac{3}{2}} (H \geq 33.5)$.

On T.-M. and T.-K., stream was checked with concrete weir with 60-degree V-notch. Water level measured by the recorder and the discharge (Q) converted in litre per second by the equation: $Q = 8.066 \times 10^{-3} \times H^{2.491}$. In the same way 60-degree V-notch weir was installed to measure streamflow on W.-B.

Volumes of every runoff except maximum instantaneous discharge were tabulated in area-millimeter for convenience in comparing with amount of precipitation (Annexed table 1).

The various climatic data used in analyses were as follows (Annexed table 2):

Kamikawa: Precipitation, air temperature and evaporation (by pan) observed at two spots close by and about 3 kilometers from the water level gaging station.

Kamabuchi: Precipitation, air temperature, evaporation (by pan), soil temperature and humidity observed at two places close by and about 1 kilometer from the gaging station.

Takaragawa: Precipitation, air temperature, evaporation (by pan), humidity and soil temperature observed at a place hard by the gaging station.

Tatsunokuchiyama: Precipitation observed at a point by the gaging station, and air temperature and evaporation (by pan) observed at a place 4 kilometers from the watershed.

Wagon Wheel Gap: Precipitation observed at 3 points on watershed A and temperature, evaporation and soil temperature observed at a point named weather station A-1.

7. Results

7-1. Regression equations to predict the expected values of various runoffs

After many trials, 122 equations were obtained (Table 3~12, 14, 16), of which no more than 2 formulae — monthly runoff prediction one for K.-K. and T.-S. — were below 5-per cent level in statistical significance. And the low interrelations with single or multiple correlation coefficient under 0.900 were merely the following estimation relations: 18 for monthly runoff with the several ones for each watershed respectively, 1 winter season runoff and estimation relation of quickflow and peak discharge for T.-K.

As mentioned above, it was clearly possible with these equations to predict the runoffs, or predicted runoffs during treatment period if there had been no treatment made.

The calibration period used for each watershed was as follows: K.-K.: 11, K.-2: 8, T.-S.: 11, T.-M.: 7, T.-K.: 8 and W.-B.: 7 years respectively, excepting 9 and 10 seasons for summer season runoff analyses for K.-2 and T.-S. respectively, 12 and 8 seasons for winter analyses for K.-K. and W.-B. respectively and 11~12, 8~9, 10~11 and 7~8 years for monthly runoff analyses for K.-K., K.-2, T.-S. and W.-B. respectively.

On the quickflow and peak discharge, 93 stormflows during summer season in 9 years on K.-2 and 290 stormflows during 8 years on T.-K. were used as data for calibration.

But as no proper equations have been obtained for the analyses in plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs for T.-S., the analyses was not made. Analyses for quickflow and peak discharge were utilized for only K.-2 and T.-K. for which the necessary data were available.

7-2. The change in streamflow after forest cutting and its relations with the change in vegetal cover on the cut-over area and climatic condition

7-2-1. Change in streamflow

As mentioned in 5, the expected values of various runoffs were computed using the said prediction equations with substitution of the correspondent independent variables for treatment period.

These expected values were compared with the observed ones to get the difference. The difference was regarded the changing amount in runoff as a response to experimental treatment and so on. The changing amount was tested for statistical significance. And it was verified subsequently that changing amounts included relatively smaller ones with lower significance as well as greater ones with higher significance. However, the analyses of treatment effect were made using all the amounts as a group of data.

The change in each runoff or flow after cutting was "increase" or "decrease". It was considered that annual change in amount of increase or decrease was mainly affected by the annual change in vegetal and climatic condition, that is, regrowth and its development, artificial annual control or temporary control by burning of regrowth, planting on cut-over area, removal of riparian regrowth, construction of contour terrace on cut-over area; precipitation, air temperature, evaporation and so on.

The relation between annual change in streamflow and annual change in regrowth cover was synthetically examined with annual correspondence between the two.

Likewise, the relation with climatical condition was detected with correlation between the two for the period, during which vegetal cover on cut-over area was looked upon roughly as almost the same state, and the effect of regrowth change perhaps nearly negligible, that is; clearcutting, weeding and burning period on K.-2; clearcutting, no retreatment, and weeding and planting period on T.-M.; clearcutting, first and second half of no retreatment period on T.-K. (Fig. 14). In the same way the correlation analyses were also made for the terracing period on K.-2 and no retreatment period on T.-S.

As a result it was recognised that there were considerable correlations between the change in runoffs and total precipitation, total or mean daily evaporation, mean or mean maximum air temperature etc. during specified period.

Furthermore, many previous results from experiments of the same kind and correspondent studies were reviewed and compared with one from this examination.

And the findings given hereunder have been ascertained.

7-2-2. Annual runoff

7-2-2-1. Removal of all trees

It has been detected that removal of trees by clearcutting or cutting of almost all trees resulted in an increase in the annual runoff and annual runoff coefficient on K.-K., K.-2, T.-M., T.-K. and W.-B (Table 18, 19). This accords with past results obtained in all the same kind of experiments. These experimental watersheds including even bamboo forest on Kenya-Kimakia as well as the said ones, where the amount of annual precipitation ranged from 536 millimeters on W.-B to 2,641 millimeters on K.-2, and their area ranged 2.5 hectares on K.-2 to 645.5 hectares on K.-K., varied extremely in forest, climatical, and topographical conditions. Never the less the results obtained were the same. Hence it may be possible to say that removal of all trees usually increases the annual runoff and annual runoff coefficient.

Maximum increase in millimeter in annual runoffs during several years since the beginning of clearcutting without other treatment were K.-K. : 268, K.-2 : 217, T.-M. : 210, T.-K. : 205, W.-B : 46 respectively (Table 18). These amounts were within the range obtained from past experiments. Consequently, it became known that the increasing amount in annual runoff after clearcutting varied from 46 millimeters for W.-B to 457 millimeters for Kenya-Kimakia A. The reasons for the variations were, probably, not only traceable to the difference in the watershed conditions include vegetal ones, but also to those in the climatical condition, especially annual precipitation.

It may be possible to say that in Japan, clearcutting results in the increase of 200 to 300 millimeters of annual runoff under the existing knowledge.

Moreover, maximum increase occurred at the year just after clearcutting or the next one with a few exceptions, for which extreme low annual rainfall was responsible, and were the so-called first year's increase.

These increasing amounts correspond 33 (K.-K.), 10 (K.-2), 46 (T.-M.), 43 (T.-K.), 30 (W.-M.) respectively in the increasing percentage rate. After all, increasing rate of annual runoff seems to be within the range of 10 to 50 per cent at the maximum in the case of experiments in Japan.

And the increases in the annual runoff coefficient percentage were, similarly, 19, 8, 15, 14, 9 respectively in the said order. In short, it may be said for the time being that the coefficient

at maximum increases in the range of 8 to 19 per cent after clearing in Japan.

The temporary standards of maximum amount of increase were obtained in the above-mentioned, and when the vegetal cover including shrub and weed were almost the same on the cut-over area, the increasing amount (ΔD) was affected by annual precipitation (P), and the relation between the two may be represented as follows, if these were the linear ones (Fig. 37 (b)•(d)•(e), 38),

$$\Delta D = 0.1836P - 340 \quad (\text{K.-2})$$

$$\Delta D = 0.2006P - 209 \quad (\text{T.-M.})$$

$$\Delta D = 0.2135P - 164 \quad (\text{T.-K.})$$

Though it was not clear as in the case of precipitation, a negative correlation was found between increasing amount and annual evaporation, annual mean daily evaporation, annual mean air temperature and annual mean maximum air temperature respectively (Fig. 39~41).

Burning on T.-M. resulted in an increase in annual runoff following the destruction of regrowth. The increasing amounts and rate of annual runoff were of the same extent as those by clearing, but for want of data on past results they could not be fully discussed.

7-2-2-2. Removal of a part of trees

A part of merchantable trees were gradually felled and removed from the dotted small area over a span of 5 years on T.-S., by which the volume of stand decreased by 50 per cent, consequently the annual runoff and its coefficient to annual precipitation increased definitely (Table 18). The effects agreed with those from the past experiment in spite of much difference in experimental conditions.

Amount of increase was smaller than that resulting from the clearing, and varied with different climatical and watershed conditions; nevertheless, the following features were recognized from the results, namely, that the increasing amount became larger with higher rate of selection cutting, no effects occurred by the cutting over a long period even if its final rate had been higher, and effects were stronger with grouping selection cutting than that with single tree selection cutting even if the cutting rate had been the same.

It was recognized that there were positive correlations between increasing amount and annual precipitation for the no retreatment period for T.-S. (Fig. 37 (c)), and a negative ones between increasing amount and annual evaporation.

After the cutting of the riparian regrowth stand by 2.5 per cent in area of T.-K., a distinct increase came in the amount and coefficient to precipitation of annual runoff. There was nothing to choose between the said result on selection cutting and those from past experiments. It was concluded that the amount of increase so depended on the watershed condition, as in the case of selection cutting, especially topography, geology and soil condition at riparian area, that it was difficult to make any precise deductions with these scanty data.

7-2-2-3. Relation between rate of cutting and increasing amount

In the graph (Fig. 66)³⁹⁾ drawn with cutting rates on the horizontal axis, and increasing amounts on the vertical axis, most points lie below a line which connect the origin with a point at 450 millimeters for clearcutting, which is a 100 per cent reduction in forest cover.

And, in spite of various experimental conditions, a tendency was recognized that increasing amount became larger with rate of cutting; moreover, when the watersheds were grouped by the aspect, the tendency was nearly formularized as follows:

$$\Delta D = 1.9918 RC - 21.8 \quad (\text{southerly aspect watersheds})$$

$$\Delta D = 3.1046 RC - 16.8 \quad (\text{northerly aspect watersheds})$$

Where ΔD : increasing amount of annual runoff in millimeters, RC : rate of cutting in per cent.

7-2-2-4. Development of regrowth

With the developing of regrowth on the cut-over area, the increasing amount of annual runoff became smaller on K.-K., T.-M., T.-K., and W.-B (Table 18, Fig. 14 (a)•(d)•(e)•(f)). The same tendency has been clearly recognized in Coweeta experiments, where the precipitation was well distributed throughout the year, and in other experiments. But in Japan it is not so clear in any experiment as in those of Coweeta because the annual distribution of precipitation is very complex.

Putting all the above-mentioned results together, the increasing amounts were diminished in size naturally in proportion to the recovery rate of vegetation. Accordingly, the diminishing rate might be quick on the watersheds where climatical and physiographical conditions were suitable for growing of vegetations, and reduction rate in forest cover was initially low. At all events, the rates are so influenced by the various watershed conditions including climatical ones that it seems likely the variations depend fairly much on difference in areas.

As there was still a considerable increasing amount 16 years after clearcutting on T.-K. where the diminishing tendency was relatively clear, and also as it was presumed that the effect of cutting might be maintained over about 35 years on Coweeta watershed, it is considered that the effect of clearing on annual runoff will be sustained for a fairly long time in temperate regions.

Though the planting was practiced on T.-M. after regrowth had developed considerably, the effect on annual flow was not necessarily clear. But the annual runoff clearly declined with the growing of planted trees on the experiment in the United States and South Africa. It has been pointed out that there was a high relationship between the decreasing amount in annual runoff and the per cent increasing in forest cover. These descriptions support the view that reduction in forest vegetation results in an increase in streamflow.

7-2-2-5. Construction of terracing

The construction of terracing on the K.-2 with regrowth resulted in an increase in annual runoff which was rather larger than that during clearcutting, and weeding and burning periods before the terracing (Table 18, Fig. 14 (b)).

7-2-3. Seasonal runoff

7-2-3-1. Removal of all trees

It was recognized on K.-K., K.-2, T.-M., T.-K., and W.-B that clearing or cutting of nearly all trees resulted obviously in an increase in summer season runoff, and that as a per cent of summer season precipitation (Table 24, Fig. 20, 21, 23~25). This agreed with the results from past experiments in spite of a great difference in experimental conditions. The large increase, that is, K.-K.: 83, K.-2: 114, T.-M.: 153, T.-K.: 131, and W.-B: 3.9 millimeters respectively, occurred in the year following the clearing or the next one. Excepting the amount for W.-B of which elevation is considerably higher than other watersheds and precipitation comes in snow as much as 50 per cent, there were no large differences among the others including Fernow's one regardless of the substantial difference in experimental conditions other than elevation. This being so, these amounts may be the temporary standard of increase of summer season runoff.

Of course, care has to be taken about the variance by climatical condition such as summer season precipitation and others, because of the high positive correlation between increasing

amount and summer season precipitation, and the negative one with mean air temperature, mean maximum air temperature, mean monthly evaporation and mean daily evaporation during summer season respectively (Fig. 49).

Similarly, winter season runoffs and their rate to winter season precipitation obviously increased during the period after clearing on K.-K., T.-M., T.-K., and W.-B, as in the past experiments' results (Table 25, Fig. 20, 21, 23~25). So it may be generally acknowledged from these results that forest cutting increases winter season runoff.

The large increasing amounts which emerged in the year following clearing or the next one were as follows: K.-K. : 181, K.-2 : 33, T.-M. : 54, T.-K. : 22 and W.-B : 44 millimeters. It was extremely large for K.-K., but the others, including Fernow's one, ranged about 20 to 50 millimeters. This range may be a temporary standard, though it is essential to bear in mind that these amounts may be affected by the climatical conditions, such as winter season precipitation which correlates with the increasing amount with high positive coefficient and the mean daily or monthly evaporation, mean air temperature during winter season with negative coefficient (Fig. 50~52).

The disappearance of regrowth following the forest fire on T.-M. brought an increase in summer season runoff again, but not in the winter season's.

7-2-3-2. Removal of a part of trees

In agreement with past results, selection cutting by 50 per cent in area over 4 seasons increased the summer season runoff on T.-S. (Table 24, Fig. 22).

It was not necessarily clear, however, if any increases occurred in the winter season's runoff different from the past results.

But, to investigate collectively, it was estimated that seasonal distribution of changing amount in annual runoff might be changed by the extent of vegetal reduction by selection cutting.

The riparian cutting on T.-K. brought obviously an increase in summer season runoff, though that in the winter season was not necessarily clear (Table 24, Fig. 24). It was clear only that the treatment had had greater effect on summer runoff than on the winter one.

A positive correlation was found between increasing amount in summer runoff and summer precipitation.

When the results including those of the past are checked, there is no doubt about the seasonal runoffs being affected by the riparian cutting to an extent beyond some limit, but the extent and seasonal distribution of the treatment effect are considered to be so affected by the extent of cutting, watershed condition and others, that further experiments may be necessary to obtain more definite data.

7-2-3-3. Development of regrowth

As regrowth developed, increasing amounts of summer and winter season runoffs became gradually smaller on K.-K., K.-2, T.-M., T.-K. and W.-B (Table 24, Fig. 20, 21, 23~25), as was the case in the past experiment's result. But because of influence of climatical condition, for example, precipitation, it was not clear in such case as the winter season runoff on K.-2.

The rate of diminishing of increasing amount with the development of regrowth is different depending on the district and the various initial extent of the cutting rate and recover rate of regrowth. And it was considered also that there had been a difference in diminishing rate between both seasonal runoffs. When regrowth had grown to a coppice after a lapse of about

16 years following clearing on T.-K., where the tendency was relatively plain, it was estimated that increase in winter season runoffs had been nearly zero.

7-2-3-4. Construction of terracing

When the terracing was constructed on the cut-over K.-2, an increase was plainly brought about in summer season runoff different from after clearcutting as well as in winter season runoff with the larger one than that of summer season on account of a remarkable increase in the snowdrifting period runoff (Table 24, 25, 26, Fig. 21).

Further studies will be necessary to confirm the results.

7-2-4. Monthly runoff

7-2-4-1. Removal of all trees

At such snowfall watershed as K.-K., K.-2, and W.-B, it was strongly in evidence that, after cutting, total runoffs of the months corresponding to the second half of snowdrifting period and the first half of snowmelting period increased, and on the contrary, the ones of the months corresponding to the second half of snowmelting period decreased (Table 28, 41, Fig. 26, 27, 31, 67).

The reason was considered to be that the removal of forest canopy had accelerated snow-melting and draining snow water during early spring, so that the slush to drain in late spring decreased.

And there was a positive correlation between increasing amount in snowdrifting period runoff and mean and mean maximum air temperature during snowdrifting period.

On T.-M. and T.-K., it decreased mostly in the monthly runoff of June, August, September and October, especially June and September with high air temperature and much insolation, and increased chiefly in the months of April, May, July, and every month in winter (Table 28, 41, Fig. 29, 30). The same was also recognized about the decrease in the monthly runoff of summer season, occasionally August on K.-2 as well as August on K.-K.

But such things did not occur with the monthly runoff in summer season on W.-B. That was considered to be on account of the high elevation area on which generally the air temperature and insolation might be low, different from being not clear on K.-2 because of some years having much rainfall during summer season.

The effects of regrowth destruction by fire on T.-M. was not made sufficiently clear.

7-2-4-2. Removal of a part of trees

The same behavior as in the case of clearcutting aforesaid was more or less recognized with the monthly runoffs during winter season on T.-S. after selection cutting (Table 28, 41, Fig. 28).

However, the amount of trees removed had been so distinctly fewer than in clearing that the treatment effects were not so obvious as in clearcutting.

The effects were not observable so definitely on the riparian regrowth cutting on T.-K.

7-2-4-3. Development of regrowth

Because of the severe fluctuations in the amount of changes, the effects of regrowth development were not sufficiently plain for any experimental watershed.

It was thought feasible, however, to correspond the annual tendency of changes in vegetal cover decreasing with progressive cutting and increasing with developing regrowth with change in every monthly runoff on W.-B, likewise in the monthly runoff with large change on K.-K. and T.-K. (Table 28, 41, Fig. 26, 30, 31).

7-2-4-4. Construction of terracing

After terracing on the cut-over K.-2, the tendency of increase in the monthly runoffs for the early part of snowmelting period and decrease in those for the later part of the period was more obvious than that after cutting.

And the increase occurred plainly in August and September runoffs after terracing, unlike the decrease in total monthly runoffs with specific climatical condition occurring after cutting (Table 28, 41, Fig. 27). This fact may be considered remarkable.

7-2-5. Seasonal distribution of change in runoffs

7-2-5-1. After cutting

Investigating the distribution by summer and winter seasons of the increase of annual flow, increasing rate and augmentation of coefficient of runoff for the several years with regrowth allowed, it was found that the experimental watersheds could be divided into two groups, that is, one in which the increase for winter season had been larger than that for the summer season as in K.-K., W.-B, and Coweeta-13, 17, and the other in which, on the contrary, the summer season increase had been larger than that of the winter season as in K.-2, T.-S., T.-M., T.-K., San Dimas-Monroe Canyon, and Coweeta- 1, 19 and 22. Though Tatsunokuchiyama was classed under summer-increase type, its increasing rate and increase in coefficient of runoff was the same as that for winter-increase type. That was the exception.

Next, about the monthly distribution of the changes of streamflow for summer period on K.-K., K.-2 and T.-M., the decrease commonly occurred in the month with much insolation and high air temperature, but increased in the other months, especially during late summer. The reasons may be explained with the change in quickflow as stated later.

The tendency was not clear, however, on T.-S. where the removal of trees was small. On W.-B also the decrease in high summer runoff was not recognized. The reason may be considered due to less insolation and low air temperature on high elevation area.

The tendency above mentioned was the same on the increasing rate and increase in the runoff as a percentage of precipitation.

A similar examination was made on the monthly distribution of change in streamflow during winter season too. And it was obviously common on all snowfall watersheds that the increase had come every month during the snowdrifting period and first half of snowmelting period, and the decrease in the months during the second half of snowmelting period.

On Tatsunokuchiyama without snow, the increase was distributed in all months in the winter season and remarkably so for January, February and March.

The same tendencies were recognized on the increasing rate and increase in the runoff as percentages of precipitation.

7-2-5-2. After terracing

When the seasonal distribution of changing amount of annual streamflow after terracing was investigated, it was evident that 60 per cent of the increase in annual runoff had come in winter season, more than in summer. It was greatly different from the fact that the increase for winter months after cutting could hardly be detected.

The increase for summer season was distributed over all months, with especially larger ones for August, September and October, whereas after clearcutting even a decrease tendency occurred.

Monthly distribution of increasing amounts during winter season was the same as it was after cutting. Namely, it was obvious that runoffs had increased for the latter part of the

snowdrifting period and the first part of snowmelting period—February and March, and had decreased for the second part of the snowmelting period—April and May.

The increasing rate and coefficient to precipitation of runoffs behaved with the same tendency.

Briefly stated, the seasonal distribution of change of runoffs were governed by the kind of forest, extent of forest treatment, climatical conditions—the presence or absence of snow, annual distribution of precipitation, and geophysical conditions—soil, topography, aspects, geology and so on. When the forest and forest treatment is the same, it may depend upon the locality.

7-2-6. Low streamflow

7-2-6-1. Removal of all trees

When the removal of trees by clearcutting converted the forest watershed to herbaceous land with a fair sprinkling of shrub, the ordinary, low, and scanty runoffs and their percentage to annual precipitation increased definitely on K.-K., K.-2, T.-M., T.-K. and W.-B (Table 21~23, Fig. 15~19). Almost the same results were obtained from past experiments with different methods of investigation. It is generally in evidence that an increase in the low streamflow after forest cutting will result.

But since the amounts of increase may differ widely with the kind of forest, climatical condition such as precipitation, air temperature and so on; furthermore, as there are so many methods to express low streamflow, it may be of no deep significance to describe actually the numerical value of increase.

The following were ascertained about the relation between the increasing amount in low streamflow and climatic condition. The increase in the ordinary runoff correlated positive with annual precipitation and positive or negative (governed by snow) with annual evaporation, annual mean air temperature, annual mean maximum air temperature.

The increase in low runoff correlated positive with annual, summer and winter precipitations and negative with mean and mean maximum air temperatures during summer season, annual and winter season evaporations.

And the increase in scanty runoff correlated positive with annual and winter precipitations and negative with annual and winter season evaporation (Fig. 42~48).

On T.-M., the increases came evidently in low streamflow after all regrowth were destroyed by the forest fire (Table 23, Fig. 17). It was considered that the effect was stronger than that after cutting.

7-2-6-2. Removal of a part of trees

No apparent effect was detected with riparian cutting on T.-K. The investigations were not made on the effects of selection cutting on T.-S..

7-2-6-3. Development of regrowth

As regrowth developed, the increase of ordinary, low and scanty runoffs became smaller, and these low streamflows gradually approached to the situation before cutting on T.-K. and W.-B in the same way as the results from Fernow and Coweeta experiments. The results may in general show that, as regrowth develops, increase in low streamflow by cutting becomes gradually smaller and recovers toward the situation before cutting.

The rate with which increase becomes annually smaller seems to depend on the kind of forest, extent of treatment, kind and extent of regrowth and climatic condition and so on. On T.-K., it will take about 10 years to return to the flow situation before cutting, assuming

corresponding vegetal condition.

7-2-6-4. Construction of terracing

The increase in low streamflow on the cut-over K.-2 after terracing was very apparent. It was thought that the amount might depend on climatical condition.

7-2-7. High streamflow

7-2-7-1. Effect of clearcutting and relation among the changing amount, initial water level and storm

The clearcutting or almost clear cutting on K.-2 and T.-K. apparently resulted in an increase in quickflow and peak discharge. But at the same time, it was also found in the case of considerable storm that the cutting had brought about little change or even a decrease (Table 30~34). Similar results have been obtained from the Fernow experiments in spite of difference in experimental condition.

It is noteworthy that the high streamflow increased after clearing as in many other results but Fernow's, and past results support the fact that the flow evidently had been decreased after afforestation with a considerable percentage to whole area.

However, the case of the decrease or little change apply only to the Fernow experiments except the K.-2 and T.-K. ones here. Further studies are required.

When the vegetal conditions on the cut-over area are the same, there is verification given below that the direction and extent of changes in high flow might depend mainly on such conditions at storm time as rainfall and initial soil moisture held in watershed.

First, examinations were conducted on the quickflow (Fig. 56, 57).

At the time when the initial water level was high over a certain limit, meaning that soil moisture content in watershed was much over a certain limit, any storm of more than 10 to 15 area millimeters (those less than that were not followed with stormflow noticed on hydrograph) on the cut-over watershed with equal vegetal state did not make a decrease in high flow, but made an increase. And the increasing amount was in proportion to the severity of the storm. The said limit water levels were estimated to be about 5.0 centimeters (corresponding to the discharge 0.37 litre per second) for K.-2 and 8.6 centimeters (1.72 litre per second) for T.-M..

When the initial water level was less than the said limit, a storm was followed by a decrease in the quickflow, and the decreasing amount grew larger to a certain limit linearly with amount of a storm. And it was found that the limit of decreasing amount varied according to the extent of the initial water level—the extent of dryness of watershed, and had become larger with severe dryness. The limit decreasing amount with maximum dryness, namely, maximum decreasing amount for all the class of initial gage height was estimated to be about 30 millimeters common to both watersheds.

The quickflows due to the larger storm which exceed the first limit amount of storm corresponding to maximum decreasing amount by each class of the initial water level respectively, also decreased, and then the decreasing amount diminished in size linearly with amount of a storm. The first limit amount of storm corresponds to the maximum dryness—maximum first limit amount of storm was estimated to be 75 millimeters for K.-2 and 100 millimeters for T.-M..

In the case of still larger storms, that is, storms over the other limit of storm amount (named the second limit amount of storm) were always followed by an increase in quickflow, and it was estimated that the increasing amount had grown larger linearly with amount of

a storm. The maximum second limit amount of storm was estimated to be about 200 millimeters common to both watersheds.

In Fig. 56, 57, the relation between amount of a storm and changing amount in quickflow was simply represented as the linear one, but actually it might be a certain kind of curve. Further studies are required.

Though the initial soil moisture condition of the watershed here was represented by the initial water level, practically it should be given in terms of actual soil moisture content or antecedent climatical conditions (Fig. 58).

Next, and in the same way, the relation among the changing amount in peak discharge, maximum one hour rainfall, and initial water level was investigated (Fig. 62, 63).

The pattern of the relation was exactly the same as in the case of quickflow.

It was estimated that the maximum decreasing amounts in peak flow for the maximum dryness on watershed had been about 38 litre per second for K.-2 and 250 litre per second for T.-K., and the maximum first one hour rainfall for the maximum dryness had been about 19 millimeters for K.-2 and about 14 millimeters for T.-K.. Moreover, the maximum second one hour rainfall at the maximum watershed dryness was about 26 millimeters for K.-2 and about 42 millimeters for T.-K.

The critical initial water level, with which peak discharge always increased regardless of storm intensity (but, over 2 to 4 millimeters per hour), had been a little higher than that for the said quickflow, it was estimated.

7-2-7-2. Temporary standard of the change in the quickflow and peak discharge

As stated above, change in high streamflow due to clearing might be governed by the storm and the initial soil moisture condition in the watershed. And from this it could be expected that a rough temporary standard of changing amount in quickflow and peak discharge by every class of the two conditions might be devised. But, as there is not enough information under the present situation, merely a conceptive explanation and certain critical values will be described here. To be noted especially, no precise representation is proposed to practically show the initial soil moisture condition in a watershed.

Accordingly, as a reference to estimate the temporary standard of increase in the high streamflow from the cut-over area if it were not extremely dry, that is to say, without the strict consideration on the initial watershed moisture condition, the average relations between amount of a storm and the increasing amount and rate in the quickflow and the peak discharge respectively, was investigated and represented as follows so far as concerns the data here.

(The relation between the increasing amount in quickflow and amount of a storm) (Fig. 59)

$$\Delta r = 0.2148 p - 5.61 \quad (\text{K.-2})$$

$$\Delta r = 0.3252 p - 8.38 \quad (\text{T.-K.})$$

where, Δr : increasing amount in quickflow in millimeters, p : amount of a storm in millimeters.

Strictly speaking, the relation might not be a linear one, but an S-shaped curve composed of the two hyperbolas or the two parabolas. Further studies will make it clear.

(The relation between the increasing rate of quickflow and amount of a storm) (Fig. 59)

$$dr = 28.36 + \frac{251.60}{p} \quad (\text{K.-2})$$

$$dr = 64.94 + \frac{2.30}{p} \quad (\text{T.-K.})$$

where, dr : increasing rate of quickflow in per cent.

(The relation between the increasing amount in peak discharge and amount of a storm)
(Fig. 64)

$$\Delta q = 0.1175p + 1.79 \quad (\text{K.-2})$$

$$\Delta q = 1.2058p - 8.23 \quad (\text{T.-K.})$$

where, Δq : increasing amount in peak discharge in litres per second.

In this case also, the relation might not be a linear one, but an S-shaped curve strictly. The relation remains to be strictly detected.

(The relation between the increasing rate of peak discharge and amount of a storm)(Fig. 64)

$$dq = 23.02 + \frac{1599.00}{p} \quad (\text{K.-2})$$

$$dq = 60.52 + \frac{1177.61}{p} \quad (\text{T.-K.})$$

where, dq : increasing rate of peak discharge in per cent.

(Temporary standard of increase in quickflow and peak discharge)

The extent of increase in quickflow was estimated to be governed by the geophysical conditions of basin such as the kind of forest, topography and so on, as well as the climatical condition. Consequently, it appears in general that the extent varies with watershed.

Since there is need to know roughly the increasing amount after clearing, disregarding the various conditions, the average extent of increase was investigated on the results from past experiments including the one here.

It was found that the individual quickflow after cutting increased up to several times to ten-odd times that for no-clearing ; however, the average with each experiment ranged from 1.15 times to 2.03 times.

Moreover, on the two experiments here, the mean increasing rate in quickflow due to a storm above 100 millimeters were estimated to be nearly constant (Fig. 59) and the increasing amounts were 1.30 times (K.-2) and 1.65 times (T.-K.) that for no-cutting respectively (Table 37).

And, likewise the case of quickflow, the increase in peak discharge of individual storm-flow for post-cutting amounted up to several times to ten-odd times that for no-cutting, and the average with every experiment ranged from 1.05 times to 1.91 times. On the two watersheds here, peak discharge due to the rainfall above 100 millimeters were estimated to increase at a nearly fixed rate to the expected value, and by 1.35 times (K.-2) and 1.70 times (T.-K.) that for no-cutting.

Next, as in the case of the increase stated above, an investigation was also made for the average relation between amount of a storm and the decreasing amount and rate in quickflow and peak discharge respectively. The relation obtained will provide a temporary standard of the approximate decreasing amount in quickflow and peak discharge from watershed which was relatively dry because of less antecedent precipitation. It is represented by the

following formulae within the data used here.

(The relation between the decreasing amount in quickflow and amount of a storm) (Fig. 60)

$$-dr = 0.2357p - 2.20 \quad (\text{K.-2})$$

$$-dr = 0.2690p - 3.55 \quad (\text{T.-K.})$$

where, $-dr$: decreasing amount in quickflow in millimeters, p : amount of a storm in millimeters.

(The relation between the decreasing rate in quickflow and amount of a storm) (Fig. 60)

$$-dr = \frac{1735.15}{p} - 4.97 \quad (\text{K.-2})$$

$$-dr = \frac{1151.73}{p} + 25.01 \quad (\text{T.-K.})$$

where, $-dr$: decreasing rate in quickflow in per cent.

(The relation between the decreasing amount in peak discharge and amount of a storm)

(Fig. 65)

$$-dq = \frac{p}{0.0907p + 5.59} \quad (\text{K.-2})$$

$$-dq = \frac{p}{0.0021p + 1.33} \quad (\text{T.-K.})$$

where, $-dq$: decreasing amount in peak discharge in litres per second

(The relation between the decreasing rate in peak discharge and amount of a storm)

(Fig. 65)

$$-dq = 21.13 + \frac{665.78}{p} \quad (\text{K.-2})$$

$$-dq = 22.19 + \frac{1973.09}{p} \quad (\text{T.-K.})$$

where, $-dq$: decreasing rate in peak discharge in per cent.

(Temporary standard of decrease in quickflow and peak discharge)

The extent of decrease in quickflow was also estimated to be governed by the various geophysical conditions and to vary according to the watershed. Therefore it is not feasible to give the decreasing amount in the strict sense.

But, to respond to a need of getting roughly a temporary standard of decreasing amount in quickflow due to a storm on watershed with less antecedent rainfall, the mean decreases were calculated and represented as 0.75 times (K.-2) and 0.49 times (T.-K.) that for no-cutting, though, of course, the decrease in individual stormflow also ranged from 0.01 to 0.12 times that for no-clearing.

In the same way, the average decrease in peak discharge was 0.65 times (K.-2) and 0.47 times (T.-K.), while there were decreases ranging from 0.02 to 0.08 times in individual stormflows.

(The relation between quickflow and amount of a storm) (Fig. 61)

Furthermore, the average relation between the expected quickflow (r) and the correspondent storm (p) for calibration period, disregarding the initial soil moisture condition, were represented as in the following formulae from the data obtained here.

$$r = 0.6979p - 8.84 \quad (\text{K.-2})$$

$$r = 0.4810p - 6.13 \quad (\text{T.-K.})$$

The relation, however, may be more strictly represented as a kind of curve, for instance,

the S-shaped curve composed of two hyperbolas.

But, recognizing the said linear relation, the following formulae may represent the relation between the mean quickflow percentage (Cr) and the storm.

$$Cr = \frac{p}{0.0141p + 0.26} \quad (\text{K.-2})$$

$$Cr = \frac{p}{0.0204p + 0.40} \quad (\text{T.-K.})$$

7-2-8. The reason for the change in streamflow

To discuss first the reason for the changes in quickflow and peak discharge.

The felling and logging works often disturb the ground surface following the production of fine materials with which the opening in the soil strata may be clogged, also the compactness and consolidation of surface layer of soil, thus the removal of forest often decreases the retention capacity of litter and humus, and consequently the infiltration capacity of soil strata.

A lot of water paths, thereafter, are made on the ground surface of cut-over area, resulting in the surface runoff increase as compared with that before cutting. And then it is obvious that these many water paths bring an increase in quickflow and peak discharge.

It is clear also that the amount of interception decreases after the forest canopy has been removed. But the decreasing amount is generally so small, and in addition so replaceable with the interception by the shrubs and herbs regrowing soon after cutting everywhere in Japan, that the decrease in interception actually may be a smaller one. And, though undoubtedly the decrease in interception will qualitatively bring a part of increase in quickflow and peak discharge, it is thought that increment volume may not be very large except immediately after clearing.

Similarly, removal of trees obviously decreases the transpiration considerably though this may be partially replaced by the regrowth growing soon after cutting.

It has already been confirmed by many past researches that the decrease in forest cover causes the increase of moisture in soil layer holding root system. This means that the initial loss at the beginning of a storm may become smaller, and thus the quickflow and peak flow may become larger.

However, when the forest canopy has been removed, ground surface is directly exposed to variation in such essential conditions for evaporation as solar radiation, air temperature, wind velocity and so on, and when these conditions are severe—for instance during high summer—it is possible for the surface layer of soil to get extremely dry, and the shortage of soil moisture, namely the initial loss in stormflow remarkably larger than that before cutting. Considerable amounts of rain water at such a time may well be so consumed in order to replenish the shortage of soil moisture in upper layer of soil profile, and in spite of the decrease in interception following the increment in surface runoff, it may well be that a decrease in quickflow and storm peak flow occurs.

At any rate, from the results on high streamflow obtained on K.-2 and T.-K. and past experiments on the relation between soil moisture and vegetal cover, it has become clear that quickflow and storm peak flow increase or decrease within the changing volume corresponding with the extent of phenomena above-mentioned after clearing.

The low streamflow during no rainfall period increased after removal of trees. This may be attributable to there being a higher effect of the diminution in transpiration and thus

the increase of soil moisture replenishment in fall due to the diminished transpiration during the growing season than that of the decrease, owing to the increase in ground surface evaporation and the deterioration in the infiltration capacity.

The low streamflow during snowdrifting season increased also after clearing. The reason was considered to be attributable to the promotion of snowmelting through the removal of forest canopy, the replenishment of soil moisture during autumn and decline in snow interception.

Monthly runoff was almost a total one with added quickflow to low streamflow. In many stormflows, as both flows increased, the monthly runoff as a total increased naturally.

However, during high summer season when evaporation condition might have been so severe that great want of soil moisture might have occurred, as the diminution in quickflow which account for the principal part of monthly runoff decreased, the monthly runoff during this season decreased, and in the case of it increasing in a region, the increasing volume was generally not large.

The increase in monthly runoff during the first part of the snowmelting period and at the same time the decrease in the runoff during second part of the period were assumed to be due to the advance in snowmelting timing through the removal of canopy cover.

Annual and seasonal runoffs are the sum of the total runoff for corresponding months. Accordingly, as most of the monthly runoffs increased after cutting, these runoffs as the total of them naturally increased following the removal of trees.

Though the winter season runoff in snow region increases mainly due to the decrease in the snow interception, sometimes with the adding of the increase in snowdrifts with the snow blown into the cut-over area from the environs, it may be imagined that in some watersheds the increase in the amount of moisture recharged during late summer and fall causes an increase in the runoff.

In short, changes in streamflow after forest cutting were estimated to depend on the changes in transpiration, especially during growing season, infiltration capacity in surface soil layer, and evaporation from ground surface, consequently initial loss at the time stormflow begins and the interception. And in snow watershed, change in snowdrifting—volume and distribution—due to the change in forest in the environs is thought to be important.

7-2-9. Uniformity of streamflow

When the uniformity of annual streamflow was represented with the distribution of the rate of plentiful, ordinary, low, and scanty runoffs to the annual one, it was recognized obviously that clear cutting or nearly clearing had improved the uniformity for 5 watersheds except W.-B., evidenced by the fact that the rate of plentiful runoff diminished, whereas the rates of low and scanty runoff increased. The same tendency has been detected in the Fernow experiments. But, on certain snow watersheds, the clearing may reduce the uniformity through the advance of snowmelting timing, as was the case of W.-B.

As the regrowth developed, the improved uniformity became worse and returned to the precutting situation again. The fact was clearly observed.

The terracing constructed on the cut-over watershed with regrowth evidently made the uniformity better.

Moreover, it has already been made clear that the uniformity represented as the extent of dispersion of each daily runoff in annual streamflow declined after clearcutting.

Annexed table 1. 各流域の月流出量 (mm)
Monthly runoff for each experimental watershed, in mm

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考 Remark
年 Year													

上川—北谷 K.-K.

1942													
1943	26.78	18.57	18.17	36.49	235.52	50.04	31.11	33.47	92.03	73.23	60.83	36.94	
1944	25.70	19.01	17.16	34.96	237.09	60.34	36.12	26.00	40.11	41.19	69.10	36.25	
1945	19.93	14.09	15.88	77.69	230.00	86.29	40.86	28.70	30.72	53.42	39.24	27.70	
1946	32.04	19.30	17.81	85.24	282.17	104.49	108.67	67.44	65.68	96.79	80.25	41.27	
1947	33.25	26.18	24.40	61.28	201.80	62.49	129.08	162.70	72.03	71.29	63.83	52.23	
1948	33.64	24.48	23.88	124.31	150.67	71.88	63.96	160.40	62.54	54.75	61.07	41.11	
1949	32.33	24.94	24.13	42.13	333.96	71.89	42.23	33.11	30.97	34.66	63.20	41.52	
1950	24.81	19.92	21.50	116.70	219.42	45.56	40.87	61.25	42.06	49.56	36.31	30.21	
1951	29.74	22.15	24.64	61.76	264.12	73.41	65.81	45.11	42.66	49.72	73.04	43.70	
1952	28.93	23.31	23.21	94.71	244.89	90.92	62.38	49.85	45.11	49.72	45.78	36.02	
1953	26.77	19.79	21.01	42.19	249.44	83.79	95.12	190.44	42.10	51.98	44.94	32.50	*54 15台風に
1954	31.12	23.73	24.71	98.77	246.95	65.79	39.36	115.89	65.04	50.86	44.13	43.24	よる風害発生
1955	32.52	23.42	34.95	135.57	196.21	77.44	120.62	215.05	79.33*	56.77	50.70	53.92	Forest
1956	38.62	29.89	30.60	152.77	283.69	80.18	60.49	116.28	130.70	136.50	108.62	57.60	damage by
1957	31.12	24.79	25.27	144.71	204.07	81.42	49.22	74.36	55.13	57.35	58.62	39.75	typhoon 5415
1958	33.56	24.78	25.84	144.49	249.62	93.58	66.72	112.48	97.14	105.42	70.29	48.25	occured
1959	29.33	23.47	24.36	188.92	143.90	62.41	87.64	54.91	66.74	64.29	63.41	44.90	
									68.42	59.20			

釜淵—2号沢 K.-2

1939													
1940	42.96	40.13	252.54	676.76	99.75	4.62	490.91	49.81	127.95	39.47	110.78	150.26	
1941	75.84	68.18	297.09	208.35	73.28	126.08	287.79	21.28	99.86	96.43	43.87	191.74	
1942	42.96	32.02	468.87	216.97	21.91	31.07	49.84	42.81	55.09	76.63	244.35	120.99	
1943	42.39	32.53	244.13	640.39	132.50	87.06	1.98	246.60	112.74	150.03	218.29	143.82	
1944	37.82	28.43	184.25	576.31	168.61	24.75	549.40	15.59	53.33	59.69	164.03	94.98	
1945	31.70	24.46	304.50	766.62	136.57	68.42	131.27	7.50	221.40	221.75	210.20	128.51	
1946	134.80	44.42	246.53	793.44	159.76	495.67	45.95	14.06	52.74	72.00	84.58	101.88	
1947	97.32	30.63	208.80	743.59	155.14	181.86	470.26	340.00	288.32	170.12	180.96	123.93*	* 皆伐開始
1948	110.11	66.77	378.29	326.40	57.35	117.47	156.53	144.11	165.88	257.85	156.50	243.29	Clearcutting
1949	231.24	210.95	176.40	339.09	92.76	41.60	64.33	32.16	135.93	106.28	168.50	133.44	began
1950	116.70	185.60	273.04	262.79	59.62	140.31	142.49	8.89	74.74	163.57	170.31	180.44	

1951	41.90	122.42	415.37	316.16	53.50	41.07	47.93	12.47	127.04	144.69	144.26	340.08
1952	70.12	39.68	326.33	421.40	27.40	93.41	240.24	253.34	117.62	63.50	136.82	90.83
1953	83.05	85.61	529.20	426.59	42.73	94.06	191.81	387.61	130.39	34.91	206.57	155.89
1954	65.51	185.43	262.38	126.73	118.97	165.73	87.61	4.70	50.20	109.22	124.25	102.64
1955	53.96	201.69	357.25	298.11	203.08	356.21	85.37	49.29	107.52	230.81	238.64	258.18
1956	83.51	70.46	394.34	370.88	117.90	235.04	222.44	117.07	49.29	89.35	286.71	190.57
1957	89.39	53.06	154.07	774.70	134.23	43.58	286.63	88.17	78.17	139.65	115.60	166.60
1958	121.75	132.76	323.67	424.51	41.65	19.03	461.55	153.68	230.04	182.39	138.18	238.61
1959	115.73	233.52	472.07	166.72	73.64	66.89	352.65	142.03	121.53	106.44	177.50	160.02
1960	142.67	195.44	409.91	361.27	95.09	94.66	191.87	64.70	109.85	78.38	131.74	332.30
1961	56.98	94.06	395.14	541.05	47.65	142.04	340.20	128.25	171.62	81.69	299.12	166.53
1962	121.24	139.94	318.61	617.95	67.36	118.67	141.26	192.53	180.70	131.73	190.33	239.81
1963	56.45	48.55	391.68	636.96	167.50	145.52	294.20	129.87	200.72	123.41	280.41	241.74
1964	167.71	59.56	300.17	526.02	39.80	74.56	344.68	38.24	320.05	121.43	232.96	

釜淵-1号沢 K.-1

1939												134.33
1940	36.24	30.83	238.45	617.28	88.52	4.36	481.15	43.76	109.87	34.93	100.36	175.70
1941	67.81	56.50	278.01	189.73	68.77	114.13	274.34	19.32	88.08	82.00	37.86	132.56
1942	36.41	26.23	432.44	201.38	19.07	28.90	44.86	37.56	48.72	68.69	225.25	106.79
1943	35.81	26.52	226.54	586.35	122.35	82.65	1.05	243.64	107.26	145.86	216.34	151.97
1944	43.95	31.83	204.84	569.49	178.22	27.11	540.73	16.49	57.25	63.34	171.18	101.96
1945	36.02	26.36	294.75	723.00	143.03	79.45	140.35	10.17	233.79	241.10	225.12	142.16
1946	143.38	54.83	260.34	822.29	167.72	488.16	43.91	10.78	54.53	71.39	86.87	105.84
1947	103.00	33.02	188.34	726.05	174.39	170.03	470.84	322.08	269.87	157.09	177.90	131.64
1948	110.09	56.28	318.14	375.01	54.13	103.72	120.02	114.67	133.13	234.76	150.37	239.03
1949	218.03	201.68	147.50	346.86	88.14	29.79	41.82	22.17	93.36	74.80	150.93	138.52
1950	111.03	190.96	250.31	268.25	55.91	127.37	132.75	8.17	47.61	113.82	151.56	183.61
1951	43.40	91.20	376.51	360.38	71.68	34.51	28.49	12.64	74.54	101.67	129.67	314.89
1952	65.97	38.01	255.44	432.66	31.62	77.71	201.27	225.50	100.06	40.65	118.43	86.20
1953	77.60	53.39	463.79	464.08	47.11	80.22	160.77	341.20	101.63	19.83	178.06	149.29
1954	60.83	169.93	236.63	121.44	110.19	147.91	78.99	3.15	38.24	72.79	100.62	91.05
1955	49.60	163.95	344.69	304.16	178.26	306.80	77.40	38.43	76.07	197.35	226.44	229.29
1956	72.20	55.34	343.66	343.04	98.16	230.84	198.84	87.81	33.42	58.59	267.60	175.84
1957	85.13	56.62	123.09	747.15	115.41	35.12	258.42	72.55	58.48	118.03	110.35	165.82
1958	106.27	115.45	295.63	410.69	31.04	16.58	406.34	136.49	203.25	168.45	136.48	233.29
1959	105.51	221.24	468.64	158.55	73.33	60.77	344.86	132.09	102.27	88.14	165.31	157.71
1960	129.09	166.05	386.36	339.25	80.18	71.67	179.77	51.61	72.02	48.41	100.70	294.53
1961	50.02	69.75	288.03	566.88	47.70	123.14	322.89	90.57	136.13	62.50	292.77	149.22
1962	123.40	98.20	234.81	584.30	81.74	103.13	124.30	153.69	146.01	104.03	179.52	214.46
1963	58.81	37.52	299.18	618.74	166.73	129.35	275.56	107.97	167.46	102.27	288.00	224.21
1964	167.61	40.93	240.60	521.25	35.75	58.13	351.63	30.22	274.90	106.59	205.37	

Annexed table 1. (つづき) (Continued)

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考 Remark
年 Year													

宝川一初沢 T.-S.

1937											89.00	52.41	
1938	30.50	26.46	325.41	611.94	441.22	135.96	99.45	5.16	23.34	87.16	76.39	68.04	
1939	27.12	16.89	89.43	621.99	562.83	65.27	23.76	66.79	76.38	17.21	56.14	41.46	
1940	32.92	16.79	64.07	634.01	643.27	110.21	88.84	37.51	30.42	39.22	54.48	78.22	
1941	93.74	70.47	256.37	407.88	213.09	119.82	169.27	26.14	140.01	55.77	38.16	67.97	
1942	21.87	16.75	340.25	408.06	130.03	56.65	135.64	41.62	27.81	143.19	90.82	58.94	
1943	32.08	24.51	70.36	490.38	598.70	70.62	34.07	11.44	91.10	150.24	53.90	62.96	
1944	37.71	29.81	59.19	490.86	830.44	92.72	156.77	30.71	50.50	61.58	114.44	31.00	
1945	23.28	15.76	110.20	707.26	653.04	144.13	242.95	15.91	77.30	288.22	200.23	36.78	
1946	27.89	28.58	102.02	698.42	293.40	36.30	78.68	56.83	14.75	63.56	72.64	60.88	
1947	43.51	16.93	54.37	577.75	610.92	145.01	68.60	12.12	223.29	42.64	94.77	61.39	
1948	39.41	27.75	127.22	437.25	93.63	52.44	×	×	×	×	×	167.60	×
1949	70.66	88.59	68.67	393.00	380.33	79.39	44.84	24.20	196.81	98.63	181.72	73.47	×
1950	48.12	100.90	183.60	626.67	170.31	208.24	94.54	120.21	×	×	×	76.73	Lack of data
1951	24.46	34.37	267.25	469.16	199.85	37.90	65.47	17.78	42.81	68.67	178.58	123.93	*
1952	60.69	21.71	133.70	601.02	308.57	53.85	168.76	83.28	60.67	67.93	90.97	39.63	択伐開始
1953	34.85	27.02	198.58	404.30	307.87	148.96	198.91	183.02	160.47	39.95	111.48	93.28	Selection
1954	34.50	69.48	188.72	392.99	149.01	149.11	88.25	46.41	69.04	49.73	86.64	35.73	cutting
1955	29.36	79.82	241.19	557.93	309.74	43.86	72.88	20.60	86.09	193.07	68.94	60.22	began
1956	36.17	26.89	247.32	538.73	277.02	84.01	151.13	23.69	81.33	51.59	88.97	50.59	
1957	42.51	36.93	63.90	671.23	324.40	58.73	164.90	123.79	114.32	80.91	62.93	99.73	
1958	44.33	54.29	217.41	446.65	145.43	31.96	144.59	130.50	272.00	170.60	38.79	128.96	
1959	45.29	165.16	200.34	365.50	102.05	145.07	190.36	152.89	116.69	135.05	80.42	88.53	
1960	56.61	82.74	276.78	491.17	243.43	34.66	148.21	86.26	55.84	43.69			

宝川一本流 T.-H.

1937											138.67	40.11	
1938	22.84	15.56	134.26	552.31	1264.67	544.18	237.56	47.27	101.36	175.61	76.98	41.66	
1939	21.62	12.70	26.57	451.43	1209.01	642.35	200.83	180.67	137.65	46.85	133.74	40.38	
1940	25.77	12.84	15.22	387.31	1207.93	756.73	274.26	98.23	105.06	105.15	112.10	79.63	
1941	28.90	17.72	79.39	419.71	845.97	381.45	278.93	54.53	228.92	155.10	72.18	66.31	
1942	23.88	13.58	163.63	599.84	725.16	211.08	205.73	91.09	105.66	293.71	75.76	37.81	

1943	22.74	14.20	19.65	240.39	1226.75	683.43	155.94	37.01	200.29	233.45	98.94	34.66
1944	21.54	15.52	16.02	236.09	1456.30	720.50	353.58	86.92	134.41	127.17	154.12	65.52
1945	21.87	13.86	32.66	571.86	1027.63	918.95	588.43	55.45	165.64	455.39	210.93	46.54
1946	20.32	14.02	29.11	621.38	873.93	454.58	203.84	128.91	70.69	172.03	157.89	68.06
1947	26.27	15.78	20.79	398.16	1166.71	742.95	267.52	58.73	292.92	89.71	110.85	46.32
1948	24.74	16.77	48.73	591.17	707.06	275.66	234.07	90.36	346.07	123.87	205.11	142.03
1949	54.62	32.03	25.70	273.76	1080.56	416.52	149.56	49.17	264.35	151.41	220.50	88.21
1950	29.93	60.90	74.06	680.27	910.23	480.88	175.60	208.54	101.96	136.67	180.33	59.85
1951	26.02	17.95	94.79	390.79	902.28	290.47	122.71	27.30	56.22	111.57	231.59	38.20
1952	46.30	21.02	41.88	521.23	1010.75	460.80	287.74	155.30	96.01	126.14	145.17	46.26
1953	17.97	10.39	48.28	281.87	1004.43	453.05	286.40	266.96	267.79	76.15	121.97	93.84
1954	26.44	24.31	77.20	683.35	576.11	331.50	161.78	80.74	144.41	87.62	126.01	49.66
1955	16.79	16.42	81.12	534.68	921.70	267.24	104.92	42.75	128.75	307.38	110.41	48.81
1956	19.85	10.94	108.39	559.91	925.61	337.93	249.92	56.08	119.33	114.70	107.70	37.67
1957	17.01	11.84	11.71	537.94	902.57	428.40	321.70	141.08	175.19	137.59	114.87	70.62
1958	23.17	15.01	61.55	523.94	684.03	221.21	267.18	178.27	398.38	245.73	68.47	60.50
1959	29.17	57.48	98.37	654.87	545.74	291.62	289.91	241.35	181.29	190.52	113.92	94.54
1960	34.64	26.43	105.55	487.70	958.93	284.97	241.23	143.17	112.29	107.40		

竜の口山—南谷 T.-M.

1937	5.986	20.251	24.233	9.126	15.374	70.564	7.784	3.114	27.403	24.218	36.626	4.640
1938	9.246	6.767	12.067	8.772	21.715	116.986	105.055	27.686	26.444	32.616	5.764	4.913
1939	4.630	4.800	15.208	9.026	5.506	2.301	0.979	0.512	0.948	4.000	2.622	1.391
1940	1.348	2.954	3.377	7.247	1.426	15.302	20.043	19.829	6.680	4.080	3.231	2.253
1941	4.874	8.628	19.298	9.398	41.457	83.963	43.125	99.616	90.949	49.614	9.899	16.220
1942	4.860	6.529	31.564	13.806	43.520	106.231	10.540	7.634	112.594	21.521	5.547	3.894
1943	3.489	5.353	5.757	30.438	29.433	124.919	107.257	5.580	104.436	9.134	7.666	4.816
1944	4.105	4.601	12.370	23.946*	22.542	3.359	1.751	1.828	3.641	21.974	29.243	9.598
1945	3.619	5.356	56.744	13.261	36.359	41.380	96.803	10.127	123.624	256.690	12.532	10.075
1946	10.191	11.812	53.056	59.673	117.007	60.008	120.120	12.570	8.982	23.881	8.562	13.151
1947	23.684	6.679	14.940	28.372	77.705	20.134	69.545	6.834	5.697	5.596	3.818	5.486
1948	3.601	6.004	29.206	30.352	16.457	3.121	56.785	5.478	42.659	76.034	27.286	10.290
1949	14.763	10.647	59.597	9.711	33.479	119.974	75.651	10.916	78.645	43.053	8.115	25.577
1950	69.457	33.073	52.901	82.725	18.890	40.881	9.656	7.164	16.606	8.898	28.347	12.151
1951	12.963	20.802	38.659	72.543	48.013	11.019	228.248	7.527	7.671	7.937	7.141	6.157
1952	15.258	21.339	52.667	86.563	36.944	42.789	206.747	26.637	16.722	7.044	10.204	5.057
1953	4.546	5.816	18.884	7.001	63.398	225.633	142.682	10.622	129.255	10.040	10.188	13.606
1954	13.785	8.442	20.024	31.895	82.641	215.782	196.378	19.117	41.185	12.768	8.717	10.738
1955	5.310	15.680	40.520	69.963	42.472	38.867	62.537	6.510	5.735	7.631	5.952	4.399
1956	13.301	4.674	44.334	24.023	63.252	74.256	37.262	9.138	47.569	12.727	12.663	4.695
1957	4.591	19.405	7.291	77.980	33.264	46.082	158.696	28.262	53.023	23.432	7.612	6.621
1958	8.685	17.457	29.706	64.646	25.911	16.792	24.686	5.938	5.823	7.728	6.016	5.429
1959	14.869	47.833	24.597	33.058	68.288	15.064	9.380	3.939	37.019	20.840	27.549	19.931
1960	14.958	5.504	8.123	40.704	43.068	30.453	80.301	71.692	39.808	44.814	9.838	6.718

* 皆伐開始
Clearcutting
began

Annexed table 1. (つづき) (Continued)

月 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備考 Remark
1961	10.356	15.485	26.363	59.015	27.321	53.179	118.369	7.730	20.101	60.353	14.357	7.031	
1962	6.325	4.368	4.563	49.413	41.605	207.498	114.576	7.290	5.582	8.860	6.270	7.326	
1963	3.393	3.392	8.787	43.515	180.056	153.032	50.091	89.501	49.002	34.251	9.717	8.218	
1964	24.243	49.081	25.068	90.849	9.878	38.440	46.096	6.626	23.093	18.789	10.756	5.309	

竜の口山—北谷 T.-K.

1937	5.373	21.816	26.643	8.032	13.201	76.889	7.485	3.748	36.652	27.007	41.781	4.702	
1938	9.276	7.316	11.420	7.467	20.818	130.314	107.003	32.124	29.051	33.884	4.876	4.463	
1939	4.224	4.147	14.057	7.438	4.799	2.694	1.271	0.699	1.146	5.189	2.926	1.569	
1940	1.447	3.162	3.294	6.198	1.140	17.922	28.032	28.454	8.375	4.145	2.874	2.106	
1941	3.678	7.443	17.783	8.098	44.273	99.081	47.713	109.083	99.489	53.773	9.679	14.913	
1942	4.984	6.790	31.792	11.194	42.812	112.338	9.635	9.195	124.747	24.316	5.119	3.565	
1943	3.536	4.977	4.566	29.261	30.695	115.950	124.741	4.463	119.046	8.053	6.564	3.926	
1944	3.420	3.706	8.802	17.157	12.300	2.758	2.170	2.528	4.342	32.963	31.856	8.701	
1945	2.578	4.650	54.373	9.876*	26.259	42.383	105.985	17.818	140.962	255.800	13.333	11.635	
1946	11.278	12.162	55.384	61.736	109.612	77.233	144.293	10.179	9.353	46.843	11.351	19.545	
1947	32.071	7.638	19.337	35.575	87.862	33.113	82.545	5.745	4.851	5.529	3.457	6.759	
1948	3.955	9.005	41.022	37.646	18.219	4.297	54.167	9.858	59.972	99.199	37.855	14.319	
1949	18.737	16.528	69.327	14.359	43.326	140.800	82.018	9.611	95.278	53.015	10.027	49.187	
1950	85.609	40.457	68.007	88.531	20.998	55.211	8.940	10.233	27.152	14.291	46.295	17.936	
1951	19.201	32.292	48.272	82.521	58.898	11.080	256.774	4.962	6.684	10.585	10.344	7.863	
1952	27.748	32.387	70.270	95.625	39.555	49.729	240.719	25.338	17.692	5.613	11.862	4.454	
1953	4.588	8.834	30.838	9.756	83.865	244.786	157.020	6.316	162.596	6.941	11.823	18.116	
1954	19.479	11.315	25.517	43.051	91.285	216.168	193.819	22.036	59.359	12.147	9.970	14.709	
1955	4.684	25.638	49.256	73.855	46.490	41.841	65.916	3.793	3.160	5.865	4.829	2.800	
1956	15.100	4.720	56.689	23.421	60.906	81.948	32.729	8.133	60.344	12.741	12.967	2.587	
1957	3.090	24.103	7.422	78.399	29.680	49.271	155.531	23.867	61.005	19.424	4.944	4.608	
1958	8.179	19.801	33.904	70.798	28.862	30.550	23.347	5.807	5.497	10.810	7.429	6.587	
1959	23.249	61.316	28.712	36.359	74.000	20.066	11.785	3.223	30.122	10.312	15.008	11.736	
1960	13.820	3.256	10.412	49.901	42.454	29.688	71.140	66.212	30.773	34.279	5.154	3.319	
1961	5.207	11.463	24.375	57.374	23.713	63.729	90.480	3.464	18.587	54.911	10.259	3.544	
1962	3.847	2.609	2.624	46.147	40.238	204.680	108.901	2.995	2.100	4.854	3.407	4.155	
1963	1.990	2.288	7.534	40.975	165.918	133.427	32.391	67.302	34.111	28.404	6.136	5.276	
1964	18.596	43.565	21.750	82.393	6.571	42.229	45.155	3.526	31.858	21.930	9.272	3.380	

* 皆伐開始
Clearcutting
began

Wagon Wheel Gap-B

1911									8.54	25.02	11.02	9.18	
1912	8.57	7.79	8.56	12.83	74.39	24.45	12.60	9.75	7.10	9.65	8.89	8.57	
1913	8.36	7.33	8.21	14.35	25.91	17.51	9.62	6.95	7.04	7.77	7.38	7.29	
1914	7.13	6.26	7.68	11.77	44.03	17.62	9.66	7.37	6.29	8.03	7.38	7.30	
1915	7.57	6.65	7.24	11.06	40.20	20.56	8.57	6.56	7.31	7.13	6.91	6.82	
1916	6.82	6.33	9.46	14.48	45.32	14.07	8.23	8.19	7.28	11.63	9.71	8.16	
1917	7.78	6.74	7.52	14.73	75.24	78.64	13.98	8.69	6.38	8.14	7.98	7.88	* 皆伐開始 Clearcutting began
1918	7.68	6.81	8.02	8.55	9.47	7.16	6.30	5.48	6.86	6.40	6.10	6.03	
1919	5.93	5.26	6.02	17.28	58.03	17.19	9.18*	7.35	8.40	7.25	6.89	6.95	
1920	6.67	6.12	7.49	14.09	101.84	31.38	11.43	8.65	9.26	9.23	9.16	8.93	
1921	8.55	8.10	17.86	18.74	74.36	24.83	12.51	10.08	8.04	10.10	9.31	8.80	
1922	8.88	7.88	9.62	21.89	92.47	25.29	10.86	9.62	9.23	8.91	8.89	8.85	
1923	8.27	7.33	8.48	17.75	68.09	17.73	9.74	8.95	8.45	11.49	10.44	9.10	
1924	8.61	8.01	8.97	25.56	78.57	16.38	9.90	8.06	7.19	9.73	8.93	8.74	
1925	8.23	7.49	9.01	14.95	23.70	11.40	8.61	7.83	5.78	7.85	7.26	6.94	
1926	6.54	6.00	7.40	11.21	40.92	13.72	8.13	6.48					

Wagon Wheel Gap-A

1911									22.88	11.57	9.33	
1912	7.94	6.78	7.83	11.72	74.97	26.53	14.38	10.50	8.21	8.63	7.61	7.26
1913	7.12	5.74	7.21	20.19	20.38	14.89	9.03	6.72	6.65	7.32	6.47	6.35
1914	6.19	5.49	6.87	13.82	41.64	19.52	12.46	9.25	7.72	7.81	6.05	5.71
1915	6.57	5.55	6.09	11.67	41.18	21.22	10.23	7.45	6.41	6.94	6.21	5.71
1916	5.57	5.21	9.27	16.54	43.75	15.29	10.35	9.44	7.67	10.73	8.65	6.42
1917	6.00	5.36	6.28	15.47	82.76	66.58	17.77	10.62	8.14	8.08	6.85	6.38
1918	5.96	5.03	5.66	7.98	10.68	7.31	6.01	5.10	6.07	6.03	5.68	5.60
1919	5.54	4.80	5.63	19.86	54.32	20.40	12.20	7.83	6.49	7.00	6.44	6.33
1920	5.99	5.53	6.13	8.82	90.99	32.78	12.77	9.04	7.74	8.04	7.38	7.06
1921	6.76	6.08	8.63	14.37	56.92	27.52	13.57	10.56	8.35	8.22	7.40	7.16
1922	6.67	6.02	7.23	11.61	64.75	25.43	11.37	10.06	7.59	8.06	7.62	7.44
1923	7.08	6.21	6.92	11.33	52.46	18.76	10.89	9.29	8.78	9.85	8.87	7.97
1924	7.13	6.52	7.08	23.37	63.96	20.03	10.85	7.75	7.03	8.02	7.34	7.30
1925	6.97	6.17	7.49	15.20	17.66	11.17	7.80	6.81	6.46	7.09	6.40	6.27
1926	5.86	5.25	6.00	11.31	27.12	14.94	8.98	6.62	5.37			

森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響（中野）

1951	176.3	185.5	177.4	199.8	125.8	92.4	108.6	132.4	194.5	192.8	231.9	337.9
1952	345.8	184.9	120.3	169.3	81.1	204.5	326.3	318.0	177.1	124.0	154.6	289.1
1953	321.9	149.2	261.0	227.0	81.2	127.7	308.3	455.0	204.5	88.8	230.0	226.7
1954	103.4	165.4	226.4	138.9	197.6	257.9	160.1	27.4	197.3	189.4	144.9	218.5

釜淵, 基地露場の月降水量 (mm)

Kamabuchi, Monthly precipitation at the base weather station in the Sub-branch Station's office precinct situating 1 km northeast of the watershed, in mm

1939												217.4
1940	318.1	266.2	116.5	151.3	87.4	48.2	686.5	168.6	212.4	118.3	162.6	238.0
1941	166.1	148.2	191.8	114.7	140.7	223.7	364.3	95.3	216.2	162.4	79.1	253.0
1942	238.8	151.8	129.1	131.0	76.4	127.1	164.2	128.7	191.0	152.3	331.0	303.3
1943	212.4	267.4	102.6	141.5	97.0	149.1	7.0	422.8	256.6	230.6	244.8	221.3
1944	151.3	206.3	157.4	182.1	176.6	88.9	713.9	80.4	178.0	145.8	204.3	309.7
1945	211.0	157.0	283.8	×	×	×	×	×	×	×	×	445.8
1946	268.5	164.4	174.6	139.7	×	×	×	×	×	×	×	×
1947	214.0	193.7	229.5	180.8	122.3	242.6	579.8	393.8	381.7	216.1	204.3	354.0
1948	184.0	118.5	158.4	75.2	122.5	140.8	237.3	223.3	271.0	296.0	213.0	213.4
4949	319.6	199.9	141.9	178.9	132.9	135.4	111.2	140.9	209.4	172.2	203.7	208.4
1950	187.9	167.6	108.3	89.6	147.1	209.8	191.6	88.2	204.5	211.3	195.7	289.3
1951	153.6	159.1	166.5	187.5	121.2	93.6	107.1	136.3	184.7	185.8	222.7	308.0
1952	323.7	159.8	107.5	155.3	90.3	203.8	318.2	300.4	179.4	117.1	143.4	262.9
1953	279.5	124.7	226.7	218.6	80.9	126.1	299.3	451.5	204.2	82.5	219.2	208.3
1954	97.1	152.2	216.1	132.3	193.0	250.5	160.6	29.0	202.5	183.8	138.8	217.2
1955	292.0	227.4	110.5	137.6	272.0	422.9	128.5	199.1	190.2	307.0	258.0	282.0
1956	237.8	199.9	205.5	135.2	170.2	297.7	291.0	228.7	126.3	152.2	348.7	328.4
1957	198.7	175.2	188.3	216.2	132.8	89.5	421.5	214.5	167.7	198.4	122.4	235.8
1958	275.1	214.4	175.6	174.1	70.4	103.0	600.0	200.5	287.0	238.0	156.0	256.0
1959	324.0	138.0	300.0	187.5	121.5	167.0	480.5	245.0	200.0	165.0	214.0	256.0
1960	254.0	220.0	200.0	240.0	156.5	171.0	234.0	164.0	175.0	119.0	170.0	412.0
1961	312.0	210.0	82.0	163.5	93.0	237.0	376.0	217.5	252.5	117.5	329.0	272.0
1962	304.0	224.0	216.0	150.0	112.0	183.0	187.0	347.0	243.0	177.5	220.5	226.0
1963	404.0	218.0	88.0	136.5	209.5	178.5	294.0	226.5	240.0	148.5	300.0	220.0
1964	218.0	186.0	132.0	248.0	82.5	125.5	409.0	140.5	389.0	143.5	287.5	

× 欠測
Lack of data

宝川, 基地露場の月降水量 (mm)

Takaragawa. Monthly precipitation at the base weather station in the experimental area, in mm

1937											129.1	470.4
1938	307.4	283.7	77.7	80.8	155.2	229.5	155.4	96.6	99.7	205.1	169.7	264.7
1939	283.5	176.6	155.7	124.0	125.5	127.5	84.4	223.0	176.4	79.2	100.3	154.7
1940	554.1	257.8	149.7	124.0	68.9	152.9	161.8	170.8	73.4	140.3	130.4	183.7
1941	188.5	126.2	149.4	92.0	140.3	210.1	294.2	92.3	268.8	87.4	88.6	155.0
1942	315.0	137.4	78.1	108.9	95.0	177.1	244.7	181.1	113.8	237.3	214.6	276.8
1943	359.0	179.6	139.2	57.3	99.8	90.4	92.1	79.6	263.1	228.3	73.2	176.9

森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響 (中野)

Annexed table 2. (つづき) (Continued)

月 Month 年 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考 Remark
1944	278.8	273.6	162.5	221.1	85.9	122.5	266.7	102.7	126.8	156.4	161.5	291.1	
1945	355.4	364.2	249.3	54.2	172.4	164.1	306.6	115.0	195.2	416.9	236.2	334.7	
1946	170.6	116.8	164.2	81.7	88.3	113.4	257.3	144.9	115.4	184.2	105.7	438.2	
1947	112.1	237.8	129.6	147.0	154.5	212.7	146.3	130.5	391.5	96.7	150.4	189.1	
1948	167.6	85.3	93.6	148.2	86.1	172.1	372.4	120.8	368.8	159.6	199.5	184.4	
1949	131.1	203.8	139.7	222.0	137.8	175.8	108.7	235.1	221.3	196.6	211.5	233.8	
1950	225.8	192.7	131.7	170.9	121.7	316.6	226.6	231.0	127.3	139.2	129.8	227.4	
1951	160.3	152.6	180.9	170.2	75.4	115.5	159.6	100.3	144.1	147.6	372.0	220.0	
1952	182.6	149.3	112.8	179.1	93.7	177.2	278.0	153.5	190.4	149.4	110.7	96.0	
1953	251.2	148.2	144.9	84.2	184.4	200.3	267.2	299.5	256.6	69.3	213.7	145.8	
1954	244.9	103.1	121.8	135.5	187.8	246.0	166.6	173.7	156.4	122.7	111.7	218.9	
1955	351.8	210.9	121.2	94.6	178.6	142.0	131.2	130.6	225.4	267.9	81.2	161.6	
1956	285.8	261.7	132.8	118.1	165.3	184.7	219.9	127.5	204.6	121.7	137.4	273.0	
1957	88.7	131.1	145.8	72.2	119.0	127.4	260.5	228.4	231.6	121.3	84.5	160.1	
1958	237.8	169.3	161.9	121.1	45.5	117.5	268.0	280.5	335.0	222.5	99.0	118.0	
1959	255.3	182.1	180.4	104.8	137.4	242.0	336.0	296.0	225.5	181.5	124.5	149.3	
1960	297.3	94.6	75.9	123.7	158.0	93.6	293.0	118.5	132.0	130.0	151.9	102.3	

宝川, 基地露場の月平均気温 (°C)

Takaragawa. Mean monthly temperature at the base weather station, in °C

1937											5.3	-2.9
1938	-5.6	-5.2	1.7	5.0	11.6	15.4	20.2	21.6	16.5	10.8	3.8	-1.6
1939	-5.8	-4.6	-1.5	4.8	10.2	15.9	22.0	21.2	18.4	12.2	5.8	-1.3
1940	-5.8	-5.3	-1.2	4.4	10.9	16.0	21.3	20.4	17.2	12.4	7.0	0.0
1941	-1.6	-3.2	0.8	5.6	12.2	16.3	19.8	21.6	16.0	10.8	6.3	0.4
1942	-5.4	-6.0	2.4	6.5	11.0	16.4	22.7	21.9	18.3	10.2	3.3	-1.8
1943	-5.7	-4.8	-1.9	3.5	10.8	16.4	21.0	22.9	18.8	11.6	4.8	-1.6
1944	-5.4	-5.0	-1.7	2.8	11.7	17.0	20.2	22.6	17.4	11.2	5.1	-2.8
1945	-7.3	-7.2	-1.8	5.2	9.0	15.4	17.4	23.2	17.4	11.5	4.8	-2.3
1946	-4.1	-3.7	-1.2	5.8	10.6	17.6	21.4	22.0	16.8	11.4	7.0	-2.2
1947	-3.2	-5.2	-1.8	4.4	10.2	14.1	20.9	22.8	17.0	9.4	3.7	-2.8
1948	-3.8	-3.0	-0.4	7.4	12.6	17.2	21.6	21.6	17.6	11.8	4.9	1.4
1949	-1.0	-0.4	-1.8	3.5	12.2	15.3	21.1	22.6	17.6	10.4	3.8	-0.2
1950	-2.6	-3.2	0.0	7.3	13.4	16.3	21.6	22.4	18.2	10.3	5.1	-2.0
1951	-5.0	-3.2	0.4	6.1	12.5	15.4	20.0	23.1	15.2	12.6	5.4	0.8
1952	-2.8	-4.0	0.6	5.2	11.6	15.9	20.3	22.4	17.4	10.7	6.7	-0.5
1953	-4.5	-3.8	1.4	4.8	10.6	16.6	19.6	20.5	17.3	11.3	3.0	1.0
1954	-2.8	-2.0	0.8	8.2	11.6	13.8	18.8	22.1	19.3	10.0	5.4	0.2

1955	-4.6	-2.4	1.8	6.2	12.2	17.6	22.2	21.4	16.6	11.9	4.6	0.7
1956	-3.4	-4.0	0.8	5.6	12.4	16.6	20.3	20.6	18.0	12.1	5.2	-2.6
1957	-3.8	-3.4	-1.4	7.0	12.3	16.4	20.3	23.1	15.7	10.9	4.0	-0.1
1958	-4.4	-2.4	1.0	7.7	13.9	19.3	22.1	21.5	19.0	10.5	3.8	0.5
1959	-3.5	-0.2	1.7	8.6	14.6	16.8	22.4	22.9	18.5	10.9	4.5	-0.5
1960	-4.4	-2.7	0.7	5.8	13.9	16.3	21.0	22.2	18.1	10.6	5.1	-2.4

宝川，基地露場の月平均最高気温（°C）

Takaragawa. Mean maximum temperature by month at the base weather station, in °C

1937											9.4	0.8
1938	-1.1	-1.2	6.5	10.8	17.8	20.3	25.2	26.0	20.7	15.4	8.6	1.9
1939	-1.7	-0.8	3.3	10.1	16.5	22.3	27.8	26.2	23.2	17.6	10.5	3.4
1940	-2.1	-1.5	3.7	9.3	18.3	22.5	27.3	25.1	22.1	18.3	12.8	3.6
1941	2.7	1.4	5.3	11.7	18.8	21.3	24.2	26.0	20.0	16.8	11.7	4.7
1942	-1.2	-1.0	7.4	13.4	17.6	22.2	28.6	26.8	23.0	15.8	7.7	2.7
1943	-1.5	-0.2	2.1	9.1	18.1	22.4	25.9	28.2	22.9	16.4	10.1	3.0
1944	-1.5	-0.9	2.6	7.1	18.5	23.6	25.2	28.0	22.8	15.7	9.2	0.9
1945	-3.5	-4.1	1.8	10.8	14.8	21.0	21.7	28.6	21.5	15.7	9.3	1.4
1946	-0.1	0.4	2.6	11.4	16.5	23.9	26.8	27.2	21.9	16.9	11.6	1.0
1947	0.8	-1.2	2.8	9.7	16.3	18.8	26.3	28.7	21.7	13.8	8.8	1.1
1948	0.8	1.3	3.6	13.0	19.6	22.7	26.6	26.6	21.7	16.3	9.1	5.5
1949	3.2	3.2	2.6	8.2	19.5	19.8	26.7	28.4	22.5	15.0	7.8	3.4
1950	1.7	1.0	4.6	13.1	20.0	20.8	27.2	27.2	23.2	14.9	9.8	2.5
1951	-0.5	1.2	5.0	10.9	19.3	21.2	25.2	28.5	19.7	17.6	9.7	4.4
1952	1.1	-0.2	5.1	9.7	18.4	21.0	24.6	27.8	21.5	15.9	11.7	3.6
1953	-0.2	0.9	5.5	10.0	16.5	21.1	23.7	24.4	21.5	16.9	6.9	4.7
1954	1.3	2.9	5.2	14.4	17.5	17.7	23.3	27.0	23.6	14.0	10.2	3.8
1955	-0.3	2.9	5.7	11.3	17.9	23.2	27.6	26.7	21.1	15.5	10.1	4.9
1956	0.3	0.5	4.5	11.0	18.8	21.5	24.9	25.4	22.6	16.5	9.6	0.7
1957	1.4	0.6	2.1	11.0	17.3	20.3	24.1	27.1	18.9	16.5	11.9	4.6
1958	0.4	1.9	5.2	12.4	18.1	23.4	25.9	25.5	22.0	14.4	9.7	4.1
1959	1.0	4.8	5.7	13.2	18.6	20.7	26.1	26.8	22.6	15.9	11.5	5.8
1960	0.1	3.5	6.1	10.4	18.2	20.8	26.1	26.7	22.9	15.6	10.9	3.3

宝川，基地露場の月平均最低気温（°C）

Takaragawa. Mean minimum temperature by month at the base weather station, in °C

1937											1.2	-6.6
1938	-10.1	-9.1	-3.1	-0.3	5.4	10.4	15.2	17.2	12.3	6.3	-1.1	-5.1
1939	-9.9	-8.4	-6.3	-0.5	3.9	9.5	16.1	16.3	13.6	6.7	1.2	-6.0
1940	-9.5	-9.1	-6.0	-0.6	3.5	9.4	15.3	15.7	12.2	6.4	1.3	-3.7
1941	-5.8	-7.7	-3.7	-0.5	5.6	11.3	15.4	17.1	12.0	4.7	0.9	-4.0
1942	-9.5	-11.0	-2.7	-0.4	4.4	10.5	16.8	17.0	13.6	4.7	-1.1	-6.2
1943	-9.9	-9.5	-5.9	-2.1	3.5	10.4	16.0	17.6	14.7	6.9	-0.6	-6.1
1944	-9.3	-9.2	-6.0	-1.5	4.9	10.3	15.2	17.2	12.1	6.7	1.0	-6.5
1945	-11.1	-10.3	-5.4	-0.4	3.1	9.9	13.0	17.7	13.3	7.3	0.3	-6.0

森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響（中野）

Annexed table 2. (つづき) (Continued)

月 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考 Remark
1946	-8.1	-7.8	-4.9	0.1	4.8	11.3	15.9	16.8	11.7	5.8	2.5	-5.4	
1947	-7.3	-9.1	-6.4	-1.0	4.1	9.4	15.5	16.9	12.4	5.0	-1.4	-6.6	
1948	-8.4	-7.3	-4.3	1.8	5.5	11.8	16.6	16.6	13.6	7.2	0.7	-2.8	
1949	-5.3	-3.9	-6.2	-1.2	5.0	10.8	15.5	16.9	12.8	5.8	-0.3	-3.8	
1950	-6.9	-7.3	-4.5	1.5	6.7	11.8	15.9	17.7	13.3	5.7	0.4	-6.5	
1951	-9.4	-7.5	-4.1	1.3	5.7	9.5	14.8	17.7	10.8	7.7	1.0	-2.8	
1952	-6.7	-7.9	-4.0	0.7	4.8	10.8	16.0	17.0	13.2	5.5	1.7	-4.6	
1953	-8.8	-8.6	-2.6	-0.4	4.6	12.1	15.5	16.6	13.1	5.7	-0.9	-2.8	
1954	-6.8	-6.9	-3.7	2.0	5.8	9.9	14.3	17.2	15.0	6.0	0.6	-3.5	
1955	-8.9	-7.7	-2.2	1.1	6.5	11.9	16.9	16.1	12.2	8.3	-0.9	-3.5	
1956	-7.1	-8.6	-2.9	0.3	5.9	11.7	15.7	15.8	13.5	7.7	0.8	-6.0	
1957	-7.2	-7.0	-5.5	0.6	4.4	10.2	15.4	17.6	12.0	5.7	0.0	-3.1	
1958	-8.2	-6.1	-4.2	0.6	5.2	11.5	16.0	17.0	13.7	6.0	-0.4	-2.9	
1959	-8.1	-3.6	-2.5	0.8	5.5	10.0	15.4	16.2	14.0	6.6	0.7	-3.5	
1960	-6.8	-6.6	-3.2	0.4	5.7	10.6	14.5	17.3	12.9	5.3	1.2	-4.9	

竜の口山, 基地露場の月降水量 (mm)

Tatsunokuchiyama. Monthly precipitation at the base weather station in the experimental area, in mm

1937	49.9	89.1	82.3	68.3	99.0	211.1	82.2	70.2	210.7	101.1	103.6	29.6
1938	53.8	24.4	64.9	70.5	119.4	245.9	206.7	163.6	102.7	153.2	15.5	28.9
1939	27.1	36.3	85.6	76.2	51.5	70.1	13.9	33.0	58.5	114.6	54.8	0.2
1940	3.4	69.0	52.9	75.4	21.6	187.7	108.5	203.3	54.5	101.6	45.4	23.1
1941	41.7	66.5	81.4	44.5	185.6	231.8	143.1	314.5	202.2	73.6	73.4	64.7
1942	6.1	47.9	107.3	71.8	142.7	259.3	16.8	182.2	283.5	84.2	35.2	1.2
1943	22.5	45.7	61.8	97.8	151.6	219.6	253.9	5.5	303.6	65.3	46.3	20.9
1944	14.5	31.4	62.0	83.7	82.1	31.3	36.6	68.8	127.9	173.4	114.2	8.9
1945	0.9	48.6	94.5	49.4	98.5	147.0	223.4	116.4	274.2	312.3	27.7	31.0
1946	47.6	29.4	111.0	121.8	171.5	211.7	262.3	29.1	111.7	136.4	55.5	64.0
1947	56.5	27.5	52.0	87.0	168.1	112.6	174.0	35.9	77.0	70.8	10.8	44.8
1948	13.3	60.7	88.6	100.3	74.6	69.2	203.4	116.6	173.6	138.9	99.5	59.9
1949	7.4	46.9	95.3	61.2	112.3	244.7	181.7	80.1	238.3	94.2	64.6	110.5
1950	114.0	34.2	155.4	81.0	96.5	163.5	53.8	112.0	187.4	92.6	109.6	35.1
1951	31.8	88.6	70.2	123.6	149.9	78.2	342.7	8.3	110.5	89.4	66.0	51.9
1952	64.3	76.4	130.9	146.1	114.2	186.5	343.6	70.9	141.7	57.5	80.6	7.4
1953	24.1	59.8	75.6	40.0	209.5	329.7	212.6	76.0	320.6	43.1	56.5	55.7
1954	56.4	39.0	40.8	110.0	166.5	350.8	267.6	129.8	180.9	40.6	56.7	40.7
1955	25.1	74.3	94.3	151.8	105.6	132.4	148.6	91.0	82.0	89.7	48.2	14.5
1956	76.8	29.2	124.6	69.1	149.4	211.4	58.9	144.9	183.0	89.2	38.2	2.4

1957	40.0	59.7	28.0	144.8	116.5	136.7	268.9	107.2	206.5	51.5	32.7	31.5
1958	47.7	44.9	88.2	141.8	83.0	165.2	29.7	133.7	95.5	93.4	36.6	47.3
1959	57.5	96.3	65.0	98.0	151.7	87.5	103.0	69.2	187.3	71.0	63.4	64.4
1960	36.5	6.4	63.0	113.0	94.4	116.8	167.8	240.9	108.2	101.8	46.9	8.1
1961	41.7	38.1	80.0	121.3	89.0	177.1	155.2	68.9	157.6	179.0	57.3	15.8
1962	23.2	12.2	20.0	124.5	127.7	297.6	147.5	36.5	44.8	101.6	61.2	45.6
1963	7.8	21.4	62.8	138.7	244.0	235.3	78.9	248.6	122.6	79.4	37.0	21.1
1964	72.0	74.0	56.6	144.6	39.1	188.7	152.4	91.5	197.1	105.4	48.7	13.0

岡山地方気象台，露場の月平均気温 (°C)

Okayama Local Meteorological Observatory. Mean monthly temperature at a weather station in the Observatory
situating 4 km south of the watershed, in °C

1937	4.6	6.2	7.8	13.1	17.7	20.7	26.6	28.2	22.7	16.8	11.8	5.0
1938	3.0	3.3	9.1	13.1	18.4	21.8	26.2	26.3	22.6	18.3	9.9	5.9
1939	2.9	3.6	6.9	12.6	17.0	21.7	27.2	27.2	23.6	17.1	11.9	5.5
1940	2.7	3.1	6.7	12.1	17.4	21.5	27.1	25.6	22.8	17.1	11.9	7.0
1941	4.7	4.1	8.2	11.9	17.9	21.9	24.9	25.9	21.1	15.8	12.3	6.9
1942	3.3	3.3	6.9	11.9	16.4	21.4	28.3	27.2	23.5	15.3	9.7	5.3
1943	1.7	3.0	6.7	11.4	17.6	21.5	25.2	27.0	24.2	17.0	10.4	6.2
1944	3.5	3.2	6.0	11.5	18.7	22.7	26.8	27.2	23.1	16.3	11.3	4.6
1945	1.4	1.5	6.9	13.1	15.7	(22.2)	(25.0)	27.4	22.5	17.0	10.2	4.9
1946	3.5	3.7	6.3	13.0	16.8	22.1	26.6	26.8	22.6	16.4	12.7	4.9
1947	4.0	1.6	5.5	11.9	16.0	20.0	26.2	27.5	23.5	14.9	9.1	4.5
1948	3.4	4.0	6.7	13.3	17.4	21.4	26.1	26.5	22.9	17.3	11.2	8.3
1949	4.4	5.7	5.9	10.5	17.0	20.6	25.2	26.4	22.6	15.4	10.3	6.3
1950	5.0	4.2	6.7	13.1	18.2	21.4	26.1	26.6	22.7	15.5	10.6	5.0
1951	3.3	4.8	6.5	12.0	16.9	20.2	24.6	27.3	20.2	16.8	10.1	6.8
1952	4.0	3.2	6.9	12.5	16.8	20.9	24.7	26.6	22.3	15.2	12.1	5.6
1953	3.2	3.6	8.0	10.8	16.7	21.4	25.5	26.9	22.8	17.0	10.2	7.1
1954	5.4	5.2	6.9	13.6	17.2	19.8	23.8	27.2	23.3	15.1	11.7	6.5
1955	3.0	5.1	8.5	13.1	17.4	23.0	26.6	26.7	22.7	16.5	9.1	6.4
1956	3.2	3.0	7.8	12.2	16.4	21.6	26.0	25.6	22.8	16.9	9.7	3.9
1957	4.2	3.3	5.8	13.9	16.4	20.9	24.9	26.7	20.5	15.8	11.2	6.4
1958	4.0	5.1	7.4	13.6	17.4	22.4	27.3	26.9	24.0	16.3	11.7	7.7
1959	2.8	6.8	6.2	13.7	17.8	22.0	26.3	26.9	23.9	16.9	11.8	6.6
1960	3.3	5.5	8.6	11.9	17.4	21.4	26.6	27.0	22.9	16.1	11.7	4.9
1961	2.4	3.0	7.7	13.2	18.0	21.8	27.1	27.5	24.7	19.0	12.1	6.0
1962	2.8	4.4	7.0	12.1	17.2	20.6	26.1	27.6	23.5	16.1	10.4	5.7
1963	0.8	1.9	6.6	13.4	18.6	22.6	26.6	26.3	21.2	15.5	10.3	5.8
1964	4.8	3.0	6.4	17.1	18.6	21.2	27.0	28.3	23.3	16.5	10.0	5.9

岡山地方気象台，露場の月蒸発量 (mm)

Okayama Local Meteorological Observatory. Monthly evaporation at the weather station, in mm

1937	45.3	49.6	87.1	95.4	120.6	121.2	140.7	190.1	98.1	77.0	44.9	60.0
1938	53.0	58.2	70.3	115.2	114.1	107.2	106.8	93.4	107.4	61.5	52.0	41.5

() は竜の口
山露場値との
関係により
推定された
もの
The paren-
thesized
numbers are
estimated
from the
relation
with the
values at
the weather
station at
Tatsuno-
kuchiyama

Annexed table 2. (つづき) (Continued)

月 Month 年 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 考 Remark
1939	41.3	38.5	47.6	63.7	122.2	107.7	224.3	265.8	168.3	76.6	61.8	56.0	()は竜の口 山露場値との 回帰関係によ り推定された もの
1940	63.8	47.4	77.6	115.0	169.1	148.8	152.6	143.1	136.1	76.8	61.0	48.6	
1941	55.4	50.7	98.5	114.1	133.7	123.5	137.0	155.9	82.9	92.2	53.2	37.2	
1942	58.1	57.5	80.4	115.6	135.0	116.4	224.1	189.0	115.4	86.0	66.8	53.0	
1943	57.8	54.7	87.8	117.5	144.4	126.2	140.5	187.9	137.4	83.7	57.0	51.2	
1944	49.3	60.6	78.4	105.6	112.4	169.7	220.4	220.3	147.3	74.3	46.1	52.7	The paren- thesized numbers are estimated from the relation with the values at the weather station at Tatsuno- kuchiyama.
1945	61.5	52.7	81.5	124.1	129.5	(140.0)	(194.0)	180.9	88.4	68.9	63.5	58.5	
1946	48.7	50.7	84.0	100.5	99.5	98.1	145.7	172.8	128.1	77.0	50.4	56.0	
1947	43.0	55.5	80.9	144.3	128.2	127.9	154.0	187.2	124.0	91.1	65.8	58.2	
1948	56.9	59.1	83.4	116.4	132.4	153.0	133.0	160.2	106.4	66.5	49.6	35.2	
1949	48.5	42.6	69.2	98.5	138.8	107.4	147.9	146.4	93.9	74.7	48.8	42.0	
1950	42.3	49.7	78.1	103.8	124.7	104.7	188.6	170.3	116.9	86.9	56.6	48.1	
1951	46.9	55.8	79.1	88.5	122.0	133.0	136.0	206.4	110.5	90.7	65.5	48.3	
1952	48.5	50.3	80.7	106.4	139.0	118.2	134.5	188.3	107.5	88.4	58.6	45.8	
1953	51.6	49.7	85.0	109.5	118.3	93.9	124.3	187.8	111.1	90.6	61.3	54.6	
1954	38.2	55.8	88.7	110.2	119.2	106.1	128.3	177.7	98.2	77.0	69.7	49.5	
1955	59.6	65.6	64.9	101.9	121.4	123.8	152.5	204.0	104.8	82.0	67.4	59.1	The paren- thesized numbers are estimated from the relation with the values at the weather station at Tatsuno- kuchiyama.
1956	58.5	(56.0)	72.0	109.4	97.3	123.2	175.1	180.7	110.7	83.4	70.0	63.7	
1957	51.8	57.4	93.4	117.8	117.2	118.1	120.8	169.9	109.9	89.9	65.3	60.8	
1958	54.1	57.5	82.3	96.9	132.4	149.3	172.4	150.3	125.2	75.8	58.2	53.2	
1959	58.6	40.6	80.1	117.7	125.3	178.5	166.1	184.3	140.2	88.6	60.6	49.6	
1960	60.7	76.4	91.1	111.6	129.7	132.7	186.1	182.0	92.1	96.8	56.1	58.8	
1961	59.7	71.9	87.4	121.4	123.1	142.0	191.0	171.6	135.8	94.1	64.0	47.7	
1962	58.9	69.7	95.9	120.3	137.9	107.2	168.4	210.0	155.4	105.3	55.4	52.1	
1963	72.3	59.6	95.3	93.0	74.6	99.6	165.8	150.9	101.3	88.7	60.8	47.8	
1964	46.0	49.8	87.1	103.0	163.5	141.3	175.4	196.3	113.8	79.5	63.2	46.8	

Wagon Wheel Gap, A流域の月降水量 (mm)

Monthly precipitation for A-watershed, in mm

1911										111.9	28.8	38.9
1912	9.2	12.0	77.7	39.2	8.8	56.1	103.7	45.2	11.0	64.2	11.3	18.4
1913	27.9	27.9	35.5	19.9	12.5	76.5	58.4	60.4	61.6	23.6	47.9	61.5
1914	56.3	17.0	19.3	24.4	58.6	40.2	132.9	57.2	35.6	56.2	0.5	32.0
1915	23.6	61.2	8.8	97.6	39.0	12.7	58.5	45.7	72.0	9.1	49.7	69.9
1916	87.7	11.9	42.5	50.5	8.9	2.5	129.7	76.5	37.9	109.6	5.1	37.3
1917	47.0	19.5	40.3	127.5	58.7	3.3	48.8	53.2	30.7	4.8	27.2	7.1
1918	33.2	52.7	53.5	18.1	3.6	28.0	97.2	77.5	78.0	26.8	64.4	48.8
1919	1.8	47.2	68.0	53.0	32.4	22.0	110.2	25.8	36.2	50.1	123.7	21.6

1920	14.7	38.0	49.0	56.8	60.7	28.0	57.2	27.4	44.3	87.9	48.0	37.7
1921	34.5	15.2	27.7	40.3	63.5	44.1	84.0	78.9	14.0	19.9	8.1	39.9
1922	76.1	39.3	70.1	41.2	62.0	31.0	47.7	89.5	19.7	16.0	122.7	29.3
1923	20.6	24.4	42.5	53.3	16.9	26.9	66.5	104.8	94.4	66.0	43.6	34.5
1924	14.9	26.8	83.4	35.7	18.1	4.6	47.2	30.1	27.3	36.0	27.1	55.3
1925	4.6	15.0	76.2	36.7	30.0	54.5	93.5	90.8	36.5	58.6	42.9	2.8
1926	18.1	9.6	54.6	38.1	48.1	25.7	65.1	57.9	42.3			

Wagon Wheel Gap, A-1 地点の月平均気温 (°F)
Mean monthly temperature at A-1 weather station, in °F

1911										34.9	20.8	11.2
1912	15.5	18.3	23.5	28.7	41.6	48.1	52.3	52.5	43.2	33.6	24.6	12.3
1913	13.0	15.7	21.1	33.2	43.7	48.5	54.6	53.7	43.3	34.0	27.1	11.2
1914	18.6	15.2	25.4	33.8	42.8	51.2	52.8	51.8	47.2	36.0	28.9	12.1
1915	11.9	17.1	22.1	35.4	38.5	50.6	54.9	51.7	45.7	37.6	24.5	18.3
1916	15.5	20.5	28.9	34.2	42.3	53.3	54.6	51.2	45.8	34.9	25.1	13.9
1917	12.5	18.7	18.0	29.3	35.5	51.2	56.0	50.7	46.0	37.7	28.2	23.5
1918	15.3	29.8	27.4	30.8	42.4	54.7	52.7	51.2	45.7	38.2	19.3	15.0
1919	12.6	12.8	21.7	34.2	43.1	49.6	54.8	54.5	48.0	32.2	42.0	16.3
1920	17.5	20.0	21.1	26.7	42.2	49.7	54.1	51.3	44.6	32.8	21.8	13.5
1921	18.0	18.6	28.1	29.7	41.2	50.6	54.4	51.0	48.0	38.9	28.0	22.5
1922	9.2	16.8	21.4	29.1	41.0	52.9	56.1	53.7	47.6	36.2	21.8	17.9
1923	18.8	14.4	20.6	30.3	43.0	51.6	55.4	50.2	42.2	32.5	22.0	17.7
1924	10.9	21.4	17.8	30.9	41.9	54.3	54.8	53.0	46.0	35.3	25.8	14.4
1925	11.6	18.8	26.0	35.5	45.0	49.4	54.2	50.1	45.6	35.4	21.3	17.9
1926	13.0	22.1	24.2	34.3	40.3	51.6	51.9	53.4	48.2			

Wagon Wheel Gap, A-1 地点の深さ 12 in における月平均地温 (°F)
Mean monthly soil temperature at 12 in. depth at A-1 weather station, in °F

1911				25.5	32.0	37.8	44.2	46.6	39.6	32.5	30.8	21.2
1912				26.6	32.3	37.3	45.8	47.2	41.8	32.5	29.8	23.0
1913	17.9	18.8	20.9	27.1	32.1	38.5	47.6	48.1	41.2	33.7	28.1	18.8
1914	20.8	19.3	20.2	28.1	32.4	36.5	44.4	45.7	41.5	32.9	28.9	23.6
1915	17.2	19.2	21.2	27.1	32.3	38.3	47.4	49.0	40.3	34.6	25.5	19.1
1916	21.9	21.1	23.3									
1917	18.0	18.9	19.7	23.6	30.6	34.3	43.8	46.2	41.9	33.3	25.4	20.1
1918	19.9	18.6	23.4	26.7	31.8	39.9	47.7	47.4	41.4	35.5	30.6	23.2
1919	18.4	17.8	18.7	25.9	32.1	37.4	47.7	48.5	44.0	32.6	27.0	24.7
1920	18.9	19.6	20.4	22.9	30.8	37.9	44.7	47.2	39.6	33.4	29.8	23.2
1921	20.3	19.9	23.3	26.0	32.4	39.8	47.0	48.9	40.8	34.5	26.0	21.1
1922	19.6	16.7	19.8	24.0	32.0	39.2	46.9	50.1	43.1	33.1	26.7	24.5
1923	20.0	19.1	20.9	25.4	32.8	39.3	46.9	48.3	39.9	32.7	30.6	24.1
1924	19.7	18.0	21.8	23.9	30.5	36.6	44.6	45.4	40.3	31.9	26.4	23.0
1925	16.9	20.5	22.9	29.2	34.5	42.1	49.9	49.2	43.6	34.3	30.4	23.5
1926	20.2	19.2	21.3	26.5	32.1	39.7	45.6	46.9	43.0			