

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

白 井 純 郎⁽¹⁾

星 川 吉 之 助⁽²⁾

は し が き

森林の理水機能を論ずるにあたって最も重要と思われるのはその最大流量を抑制する作用であつて、これについてはすでに数多くの試験によつて少なくとも裸地に比べればいちじるしくすぐれた機能を持つことが認められているが、さらに歩を進めてその機能が森林の取扱いいかんによりどのように変化するかにについては十分明らかでない。ここでは本試験地の20年余の記録によつて、最大流量の時期別（林相別）変化の実態について解析を加えたい。

本地方は温暖寡雨地帯に属しているため台風の襲来が少なく、大雨の記録はいたつてまれで、土壌的に多少他地方のそれと異なる面のあることも考えられるので、ここで得られた傾向が一般的に当てはまるといいうるか否かは疑問である。

もともと本試験は寡雨地帯の森林の水源かん養機能の究明が目的であつて、これについては一部報告済み¹⁾で、さらに検討が続けられているが、これまでの解析の結果では、アカマツ林は本地方における水源林として必ずしも有利な樹種とはいえないという結論を得たが、今回はその機能と表裏の関係にある理水機能をおもに検討の対象とした。なおこの機会に前回の報告にもれていた前・後期の植生調査の結果やこれまでの流況の経年変化についても略述し、さらに最大流量に影響のある平常水位や土壌水分の林相別の差および地表流下試験のその後の結果等についても、あわせ報告を行なつた。

本試験地の試験経過ならびに地況については本試験第1, 3, 4回報告¹⁾に詳細述べられているが、ここにあらためてその概略を示すと、当初の試験計画としては昭和12~14年を基礎観測期間、昭和15~19年を両谷の健全林相期間、昭和20~24年は南谷のみ全林木を伐採除去して無立木状とし北谷は健全林相のまま残置し、両谷の伐採前後の水の出方を比較する予定であつた。ところが昭和15年秋よりマツクイムシが侵入し、しだいに広がり全林が侵されるにいたつたので、昭和19~21年にかけて両谷の伐採を行ない、その後しばらく放置されたが昭和30年から3カ年間に南谷にヒノキを植林することになり、昭和29年秋から一部下刈りを実施、同30年3月第1回目の植林を行ない、同32年3月に流域の大部分の植栽を終つた。北谷についてはアカマツ稚樹の生育が比較的良好なので、天然更新による成林を期待することとした。本稿においては昭和19~21年の伐採中を境としてそれ以前を前期、以降を後期、また昭和29~32年を下刈り期として資料を扱つたが、必要に応じてさらに時期を適宜細分して検討を行なつた。なお地況の概況を表示すると、

(1) 九州支場宮崎分場防災研究室長 (2) 関西支場岡山分場玉野試験地員

	北 谷	南 谷
地 質	秩父系硬砂岩 (一部石英斑岩, 花崗岩, 緑色岩)	秩父系硬砂岩
面 積	17.27 ha	22.61 ha
方 位	W	W
平均傾斜	30.9°	26.1°
標 高	45~250 m	58~258 m

で、地形地質の点で北谷が南谷より治水的にみて劣るのではないかと推察された。

一方地表流下試験については、前記量水試験の付随試験としてアカマツ林地における地表流下の状況を知る目的で、昭和 13 年北谷の流域（量水試験区域外）に試験区を設定、観測を開始した。その試験区の種類は 1 号区（アカマツ老齢林）、2 号区（同幼齢林）、3 号区（同稚樹区）、4 号区（刈取り草生区）で、各区に簡易自記水位計および自記雨量計を備えつけ、その観測要領、資料の取りまとめ方法等はほぼ谷の量水観測のそれにならった。昭和 19 年以降は観測要員の都合のため一時中断されたが、同 26 年にいたって再観測の必要を認めて既往の施設に改修を加え、1 号区、3 号区、4 号区の順に逐次観測を始めた（2 号区は立地条件の差が大きいため中止した）。本稿で検討を加えた 1 号区のアカマツ老齢林は、マツクイムシのため昭和 21 年伐採され、その後手入れを加えず放置されてきた。なお再開の際 1 号区を A、B 両区に 2 等分し、一方を処理区として、林地における下刈り開墾等の取扱いが地表流下に及ぼす影響を調査することとした。

試験区の大きさは幅 15 m、斜面長 20 m、傾斜 36~37° で、土質も両区においてはほぼ均一とみられた。これまでの試験結果については昭和 19 年、31 年の 2 回にわたり報告²³⁾されており、その後の植生別流下傾向にも格別の変化がみられないので、今回おもに 1 号区の下刈り開墾前後の地表流下の変化を谷の最大流量との関連の下に検討することとした。

なお本報告の取りまとめ途中で筆者が転勤を命ぜられたため、資料の収集整理に多少支障をきたし検討不十分に終わった点も多いが、新たな職務の都合で不満足ながらこの程度で打ち切ることとした。

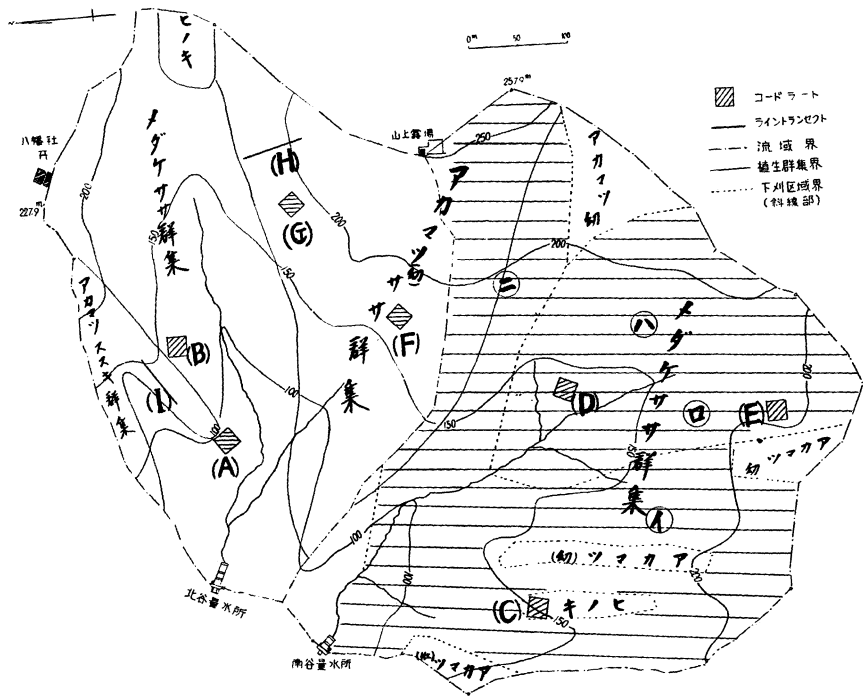
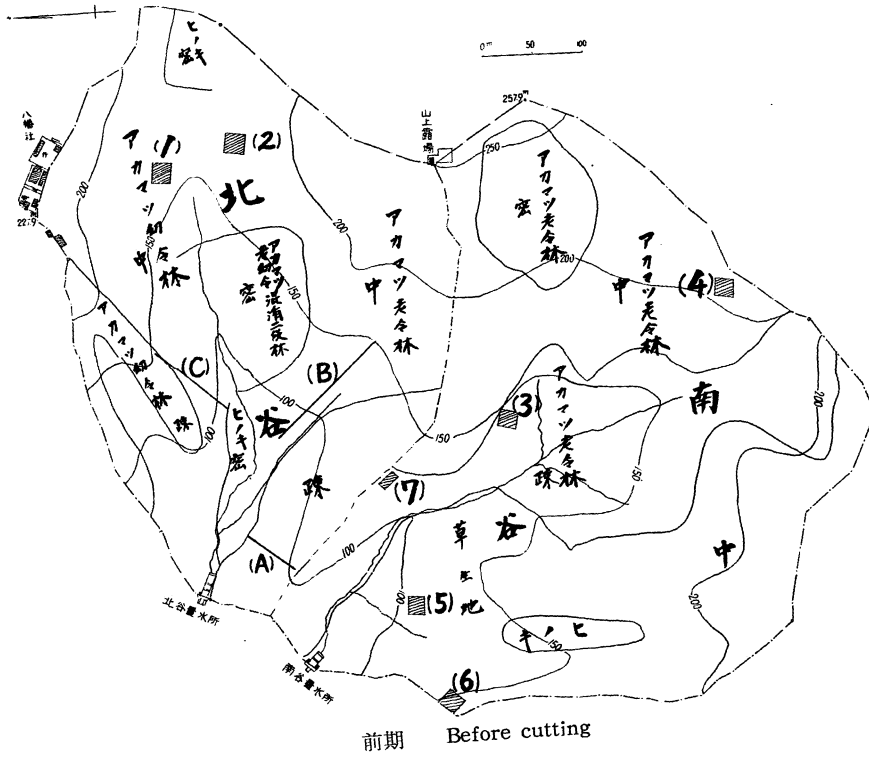
本報告の取りまとめは白井が担当し、観測および流量記録の整理は星川吉之助、近藤松一、小林忠一が担当し、計算は岡本金夫ならびに岡山大学理学部学生の協力を受け、また植生調査については、前期は元大阪営林局技手外山三郎外 1 名、後期では岡山大学農学部学生に現地の細部調査を委嘱し、その取りまとめや概況調査は白井が行なった。

終わりに本試験の遂行に種々便宜を与えられた大阪営林局、岡山営林署、また参考資料収集に種々ご協力をいただいた本場防災部の方々に対し深く謝意を表します。

I 植 生 の 変 移

A. 調査の方法

伐採前の林況は毎木調査により樹種別、林齢別、径級別の面積本数、材積等の調査を行ない、その結果は本試験第 1 回報告に掲載されている。伐採後では一部ヒノキ林を除いてほとんど幼齢のアカマツ林とササ灌木類のみであるので、立木調査は省略した。また植生調査は全流域を植生の生育状況により数個の植生型に分かつための概況調査と、さらに各植生区ごとにコードラートを設定してこの区内に生育する植物



第1図 植生概況図
Fig. 1 General appearance of vegetation

の頻度および被度を調査した。なおコードラートの位置は前・後期ごとにその植生型を代表する場所を選んだので二期を通じ同じではない。区の大きさは伐採前は林分の高さや林況を考慮して一辺 10 m の方形区を採用したが、伐採後では植生は矮小なものが多いので、一辺、5 m の方形区を用いた。したがってその精度が、前期に比べ多少劣るかもしれない。またその区の数を取り方についても厳密な吟味を行なっていないが、概して後期は植生の数も減少しているので、この程度の数で流域の概況を捕捉するに十分であろうと判断した。このほかに前・後期とも北谷の 2 カ所にベルトトランセクトを設け、林冠の立体構造を調査し参考とした。

B. 伐採前の植生 (Fig.1 および Plate 1 参照)

a) 林相の概要

i) 南 谷

100~130 年生の老齢アカマツ林分とアカマツ更新地とからなる。アカマツ老齢林中ウツ閉密なる所は *ha* あたり生立本数が 300 本内外にして生育良好で、地表はメダケ、ネザサが密生する。ウツ閉中なる林分は *ha* あたり 150 本内外で、ヒサカキ、ツツジ類、ヤマハゼ、ネズミサシ、ヤマザクラ、コナラ等の灌木があつて地表にはネザサが多い。疎なる林分は一部峯筋に散在し地味瘠悪であるため生立本数は少ないが、その大部分は谷筋にあつて過去の伐採疎開により生じたものと認められる。その *ha* あたりの本数は 50~100 本程度で谷間にヒサカキ、ミツバツツジ等の灌木があり、その間にネザサが密生しナツフジ、アオツヅラフジ、フジ、イバラ等の蔓茎類が多い。峯筋にはツツジ類、ネズミサシ、ヒサカキの灌木が多く、また図面上の草生地は昭和 3、4 年度のアカマツ更新地でアカマツ稚樹が叢生し、ツツジ類、ヤマハゼ、ウツギ、コナラ、シデザクラ、ソヨゴ等の灌木・雑木類が混生し、ともに成長旺盛である。

ii) 北 谷

100~130 年生のアカマツ老齢林の一部に幼齢林と二段林をなしているところがある(第 1 図で密とある部分)。ヒノキ造林地にはアカマツが侵入し二段林となりウツ閉が最も密で地表植物が消失しつつある。幼齢アカマツ林分中には一部にコナラ、アベマキ、サクラ、クヌギ等が侵入しウツ閉の密な場所もあるが、大部分は中庸のウツ閉を示す。下木としてコナラ、ネジギが多く、その他ソヨゴ、ヒサカキ、ヤマハゼ、ツツジ等がある。なお峯筋の地味瘠悪なところには生育不良で疎開したアカマツ林があり、その下

第 1 表 各コードラート
Table 1. Frequency and cover

和 名 Japanese name	科 名 Family	学 名 Botanical name	Quadrat No. 1		" " No. 2	
			頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree
アカマツ	マツ	<i>Pinus densiflora</i>	80	4	12	2
シデザクラ	イバラ	<i>Amelanchier asiatica</i>	4	1	36	2
ヤマザクラ	イバラ	<i>Prunus spontanea</i>	8	1	8	1
ヤマガキ	カキ	<i>Diospyros Kaki</i>	4	1	4	1
イヌエンジュ	マメ	<i>Maackia buergeri</i>				
コナラ	ブナ	<i>Quercus serrata</i>	52	2	52	2
ハゼノキ	ウルシ	<i>Rhus succedanea</i>				
ネズミザシ	マツ	<i>Juniperus rigida</i>				

木としてはツツジ、ソヨゴ等、わずかにあるにすぎない。各林相別の蓄積および林木の成長径路や各地帯における植物の種類等については第1回報告¹⁾を参照されたい。

b) 植生型の区分

本試験地内地表植物中その最大面積を占めるササ類の有無により本流域を次の2流域に分かつた。すなわち、

地表植物中ササのほとんどない地域 峯筋の瘠悪地でアカマツの生育が悪く、地表植物としてススキが多くササ類が見られない。

地表植物中ササ類優勢な地域 おもに中腹以下の肥沃地を占めている。

以上の2区分と前記林型とを合わせて全地域を6個の植生型に分かつた。

i) アカマツ（幼）・ササ・ツツジ・ヒサカキ群集

北谷アカマツ幼齢林中の中腹以下で、灌木としてツツジ類、ヒサカキ類、コナラ類が多く、メダケ、ヤダケ、ネザサ等が密生し、コードラート1号で代表せられる。

ii) アカマツ（幼）・ススキ群集

北谷アカマツ幼齢林および草生地の瘠悪地でササ類が無く、ヤマハゼ、ネズミサン、ナツハゼ、ミツバツツジ、ヒサカキ等の灌木やススキが多い。コードラートの6号で代表せられる。

iii) 草生地

アカマツの更新地で、コードラート5号で代表せられる。

iv) アカマツ（老）・ササ・ツツジ・ヒサカキ群集

下層木および地表植物は大体 i) と同様で、コードラート2, 3, 4号で代表せられる。

v) アカマツ（老）・ススキ群集

下層木および地表植物は ii) と同じでコードラート7号で代表せられる。

vi) アカマツ・ヒノキ群集

ヒノキ造林地に天然生のアカマツが侵入し、二段林をなし、地表植物や灌木類はほとんどみられない。これら各植生型の詳細調査の結果は第1表の各コードラート内の植物の頻度および被度一覧表に示した。

内の頻度および被度

degree within each quadrat

前 期 Before Cutting											
No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		平 均 Mean	
頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Frequency	被度 Cover degree
44	2	12	2	96	3	100	5	100	5	63	3.3
				24	1					9.1	0.6
4	1	8	1							4.0	0.6
										1.1	0.3
		8	1	8	1					2.3	0.3
4	1			28	2			13	1	21	1.1
		4	1	12	1					2.3	0.3
		48	2	8	1	78	2	73	2	29	1.0

第 1 表

和 名 Japanese name	科 名 Family	学 名 Botanical name	Quadrat No. 1		" No. 2	
			頻 度	被 度	頻 度	被 度
			Fre- quency	Cover degree	Fre- quency	Cover degree
ソヨゴ	モチノキ	<i>Ilex pedunculosa</i>			12	1
ヤマコウバシ	クスノキ	<i>Lindera glauca</i>	4	1	8	1
キハダ	ヘンルウダ	<i>Phellodendron amurense</i>				
コバヤマウルシ	ウルシ	<i>Rhus serrata</i>	8	1	12	1
ヤマハゼ	ウルシ	<i>Rhus sylvestris</i>	40	2	8	1
ナワシログミ	グミ	<i>Elaeagnus pungens</i>			28	2
ネジキ	シヤクナゲ	<i>Xolisma elliptica</i>	24	2	4	1
コバミツバツツジ	シヤクナゲ	<i>Rhododendron reticulatum</i>				
モチツツジ	シヤクナゲ	<i>R. linearifolium</i> var. <i>macro- sepalum</i>			12	1
ヤマツツジ	シヤクナゲ	<i>R. kaempferi</i>	52	2	36	2
ミツバツツジ	シヤクナゲ	<i>R. dilatatum</i>	88	3	60	2
ナツハゼ	シヤクナゲ	<i>Vaccinium oldhami</i>	28	2	28	2
ガマズミ	スイカズラ	<i>Viburnum dilatatum</i>	36	2	40	2
コバノガマズミ	スイカズラ	<i>V. erosum</i> var. <i>punctatum</i>	16	1	12	1
コマユミ	ニシキギ	<i>Evonymus striata</i>			36	2
ツクバネウツギ	スイカズラ	<i>Abelia spathulata</i>			16	1
ヒサカキ	ツバキ	<i>Eurya japonica</i>	72	2	76	2
マルバハギ	マメ	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>				
キハギ	マメ	<i>L. Buergeri</i>	12	1	4	1
ウスノキ	シヤクナゲ	<i>Vaccinium Usunoki</i>				
ガンピ	チンチヨウゲ	<i>Wikstroemia sikokiana</i>	8	1		
コウヤボウキ	キク	<i>Pertya scandens</i>	56	2	56	2
ナガバノコウヤボウキ	キク	<i>P. glabresens</i>			8	1
ヤブコウジ	ヤブコウジ	<i>Ardisia japonica</i>	60	2	44	2
モミジイチゴ	イバラ	<i>Rubus captophyllus</i>			28	2
マダケ	ホモノ	<i>Pseudosasa japonica</i>	60	2	24	2
メダケ	ホモノ	<i>Pleioblastus Simoni</i>	84	3	88	3
ネザサ	ホモノ	<i>P. glabra</i>	48	2	40	4
テイカカズラ	キョウチクトウ	<i>Trachelospermum intermedium</i>	4	1	48	2
ノブドウ	ブドウ	<i>Ampelopsis heterophylla</i>	4	1	4	1
ナツヅタ	ブドウ	<i>Parthenocissus Thunbergii</i>	8	1	48	2
ナツフジ	マメ	<i>Millettia japonica</i>	64	2	84	2
サルトリイバラ	ユリ	<i>Similax china</i>	64	2	60	2
ミツバアケビ	アケビ	<i>Akebia trifoliata</i>	16	1	76	2
フジイバラ	イバラ	<i>Rosa fujisanensis</i>	12	1	40	2
アキノキリンソウ	キク	<i>Solidago Virgaurea</i>	4	1		
ススキ	ホモノ	<i>Micanthus sinensis</i>	4	1	8	1
ツルアリドゥン	アカネ	<i>Michella undulata</i>	92	2	96	2
カンスゲ	カヤツリグサ	<i>Carex Morrowii</i>	12	1	16	1
リュウノヒゲ	ユリ	<i>Ophiopogon japonicus</i>	8	1	64	2
ワラビ	ウラボシ	<i>Pteridium japonicum</i>			16	1
シシガンシラ	ウラボシ	<i>Blechnum nipponicum</i>	4	1	32	2
イチャクソウ	イチャクソウ	<i>Pirola japonica</i>			72	2
コシダ	ウラボシ	<i>Dicranopteris dichotoma</i>	72	3		
計				69		69

(つづき)

前 期 Before cutting											
No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		平 均 Mean	
頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Frequency	被 度 Cover degree
				16	1			19	1	6.7	0.4
										1.7	0.3
				16	1					2.3	0.1
		40	2					26	1	12.	0.7
84	2	44	2	80	2	89	2	57	2	58	1.9
										4.0	0.3
										4.0	0.4
		12	1	12	1			100	2	3.4	0.6
28	2			32	2					10	0.7
12	1	36	2	40	2	45	2	26	1	35	1.9
96	2	64	2	96	3	78	2			69	2.0
8	1	4	1	36	2	78	2	46	2	33	1.7
16	1			4	1					14	0.9
20	2			32	2					11	0.9
		12	1	8	1					8.0	0.6
				20	1					5.1	0.3
92	3	100	3	96	2	78	2	66	2	83	2.3
12	1			4	1						
72	2	40	2	44	2			26	1	28	1.3
				4	1					0.6	0.1
24	1			68	2	33	2	13	1	21	1.0
44	2	72	2	88	2					45	1.4
										1.1	0.1
88	2	8	1	100	2					43	1.3
										4.0	0.3
										12	0.6
100	3	80	2	36	2					55	1.9
100	5	92	3	100	5					54	2.7
										7.4	0.4
12	1									2.9	0.4
		4	1							7.6	0.6
100	3	100	3	96	2			13	1	65	1.9
84	2	52	2	84	2			19	1	52	1.6
12	1	24	1							18	0.8
48	2	16	1	4	1			6	1	18	1.1
8	1	16	1	28	2					8.0	0.7
84	2	80	2	80	2	89	2	66	2	59	1.7
100	2			96	2					55	1.1
36	2	8	1							10	0.7
4	1	20	1			12	1			15	0.9
52	2			80	2					21	0.7
4	1									5.7	0.6
		8	1	60	2					20	0.7
										10	0.4
	54		45		62		22		26		

第 1 表

和 名 Japanese name	科 名 Family	学 名 Botanical name	Quadrat A		〃 B	
			頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree
ネザサ	ホモノ	<i>Pleioblastus glabra</i>	100	4	100	4
コンダ	ウラジロ	<i>Dicranopteris dichotoma</i>				
ミツバツツジ	シヤクナゲ	<i>Rhododendron dilatatum</i>	56	2	56	3
ヒサカキ	ツバキ	<i>Eurya japonica</i>	32	2	20	1
ネズミサシ	マツ	<i>Juniperus rigida</i>	4	+	12	1
ハハソ	ブナ	<i>Quercus serrata</i>	24	2	24	2
ネジキ	シヤクナゲ	<i>Xolisma elliptica</i>	8	1	8	2
コバノガマズミ	スイカズラ	<i>Viburnum punctatum</i>	8	+	4	+
ナツハゼ	シヤクナゲ	<i>Vaccinium oldhami</i>	8	1	4	+
イヌツゲ	モチノキ	<i>Ilex crenata</i>	4	+		
ヤブイバラ	イバラ	<i>Rosa Onoei</i>			4	+
メダケ	ホモノ	<i>Pleioblastus Simoni</i>			24	2
サルトリイバラ	ユリ	<i>Similax china</i>	16	1	8	+
シンガシラ	ウラボシ	<i>Blechnum nipponicum</i>				
ナワシログミ	グミ	<i>Elaeagnus pungens</i>	8	1		
マンサク	マンサク	<i>Hamamelis japonica</i>				
ソヨゴ	モチノキ	<i>Ilex pedunculosa</i>				
コウヤボウキ	キク	<i>Pertya scandens</i>	8	1		
ヤマツツジ	シヤクナゲ	<i>Rhododendron Kaempferi</i>				
アキグミ	グミ	<i>Elaeagnus umbellata</i>				
マルバハギ	マメ	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	12	1	16	2
カヤ	ホモノ	<i>Miscanthus sinensis</i>	16	1	12	+
ウスノキ	シヤクナゲ	<i>Vaccinium Usunoki</i>			12	1
ツクバネウツギ	スイカズラ	<i>Abelia spathulata</i>	4	1	8	1
モチツツジ	シヤクナゲ	<i>Rhododendron genuinum</i>			4	+
ワラビ	ウラボシ	<i>Pteridium japonicum</i>			4	+
ヤマハゼ	ウルシ	<i>Rhus sylvestris</i>	12	1	24	2
タニウツギ	スイカズラ	<i>Weigela hortensis</i>				
ナツフジ	マメ	<i>Millettia japonica</i>	8	1	4	1
ヤブコウジ	ヤブコウジ	<i>Ardisia japonica</i>			4	1
コマユミ	ニシキギ	<i>Evonymus striata</i>	4	1		
スイカズラ	キョウチクトウ	<i>Trachelospermum intermedium</i>				
ヒノキ	ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>				
アケビ	アケビ	<i>Akebia quinata</i>				
ミゾシダ	ウラボシ	<i>Dryotaenium africana</i>				
コヒルガオ	ヒルガオ	<i>Calystegia hederacea</i>				
ツタ	ブドウ	<i>Parthenocissus Thunbergii</i>				
イタドリ	タデ	<i>Polygonum Reynoutria</i>				
ウンコロン	イバラ	<i>Photinia villasa</i>				
ネズミモチ	ヒイラギ	<i>Ligustrum japonicum</i>				
ガンビ	チンチヨウゲ	<i>Wikstroemia sikokiana</i>				
アカマツ	マツ	<i>Pinus densiflora</i>	16	2	56	3

(つづき)

後 期 After cutting											
C		D		E		F		G		平 均 Mean	
頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Frequency	被 度 Cover degree
56	3	64	3	72	3	48	3	100	5	77	3.6
				72	3					9	0.3
4	1			24	2	8	1	32	2	22	1.6
48	2	8	1	12	2	32	2	48	3	24	1.8
				4	+					0.5	+
				4	+	12	2	4	1	6.1	1.0
						16	2	6	2	4.8	0.9
8	+					16	1	12	1	7	0.4
						8	1			2.5	0.3
				4	2			8	1	2.0	0.3
		4	1	1	+					1.1	+
36	2	92	5	44	2			12	1	23	1.7
16	1			12	+			8	1	5.3	0.3
32	2			12	+					5.5	0.3
4	1			4	+					1.0	+
				4	+					0.5	+
				12	3	40	3	12	2	1.2	1.0
				8	+	12	1	4	1	7.0	0.5
				4	+	60	4			9.0	0.6
				12	1					1.5	+
						4	1	8	1	5.2	0.6
						4	+			2.0	+
						4	1			2.0	0.3
4	+	20	2					16	2	3.8	0.6
										0.5	+
						4	1			1.0	0.3
24	1					4	1	20	3	17	1.1
76	2									11	0.3
16	1	8	2			4	1	4	1	6.3	1.0
12	1							4	1	2.8	0.4
4	+	4	1					4	1	2.3	0.4
4	+	4	1			4	1	28	2	5.7	0.6
44	5									6.3	0.7
		8	2					4	1	1.7	0.4
		20	1							2.8	0.1
		4	1							0.5	0.1
		8	1					4	1	1.7	0.2
		4	1							0.5	0.1
		4	1							0.5	0.1
		4	1							0.5	0.1
						4	1	4	1	1.1	0.2
		4	1	8	2	8	2	64	4	22	2

第 1 表

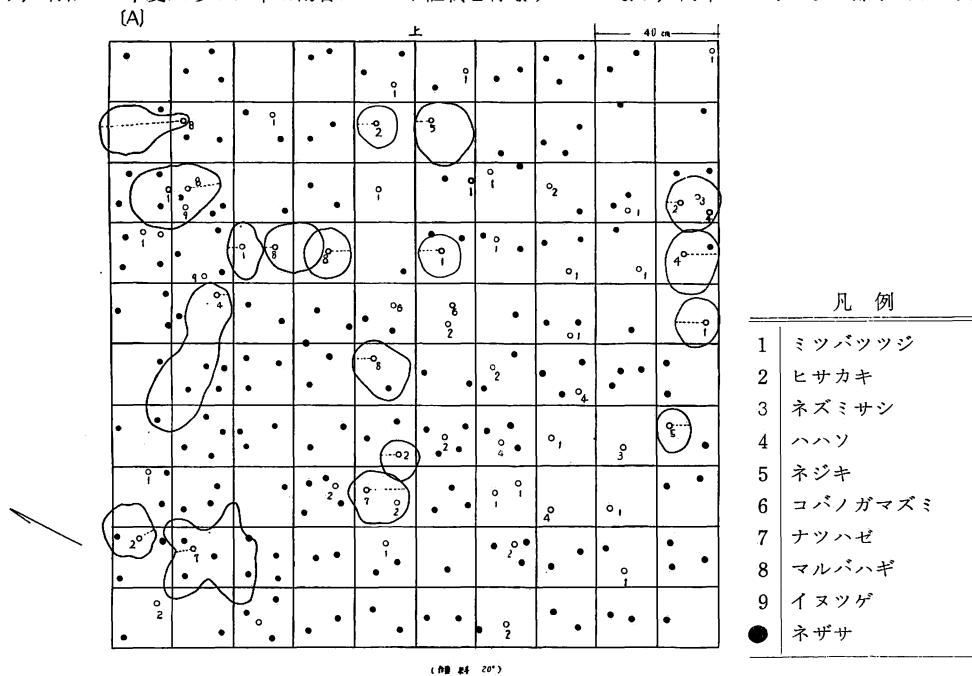
和 名 Japanese name	科 名 Family	学 名 Botanical name	Quadrat A		〃 B	
			頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被度 Cover degree
キハギ	マメ	<i>Lespedeza Buergeri</i>				
ホクロ	ラン	<i>Cymbidium virens</i>				
カツラ	カツラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>				
コバノトネリコ	ヒイラギ	<i>Fraxinus Sieboldiana</i>				
コバノミツバツツジ	シヤクナゲ	<i>Rhododendron reticulatum</i>				
ヤマハギ	マメ	<i>Lespedeza bicolor</i>				
ンデザクラ	イバラ	<i>Amelanchier asiatica</i>				
ツルアリドオン	アカネ	<i>Mitchella undulata</i>	4	1		
計				20		22

備考：第 1 回報告の頻度表から頻度 2% 以下および被度の 1.0 以下ならびに藓苔類を省略した。庇蔭

C. 伐採後の植生 (Fig.1, 2, 3 および Plate 2 参照)

昭和 15, 16 年ごろマツクイ虫の侵入以来, 急速に被害が蔓延し全流域にわたり 枯損木が続出したので, 昭和 19~21 年北谷の瘠悪林の一部やヒノキ林を残して全林を伐採した。したがってその植生型にいちじるしい変化があつたはずであるが, 伐採当時の状況を推知しうる資料はほとんど残っていない。

その後伐採跡地のまま放置されていたが, 昭和 29 年にいたって将来の流域の取扱い方針が具体的に定まり, 昭和 29 年度から 3 カ年で南谷にヒノキ植栽を行なうこととなり, 同年 11 月から一部下刈りを実



第 2—1 図

第 2 図 各コードラートにおける樹冠投影図

Fig. 2 Projection of crown within each quadrat

(つづき)

後 期 After cutting											
C		D		E		F		G		平均 Mean	
頻 度 Fre- quency	被 度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被 度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被 度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被 度 Cover degree	頻 度 Fre- quency	被 度 Cover degree	頻 度 Frequency	被 度 Cover degree
								4	1	0.5	0.1
								4	1	0.5	0.1
								4	1	0.5	0.1
								8	1	1.1	0.1
								8	1	1.1	0.1
								4	1	0.5	0.1
	26		22		25		29		41		

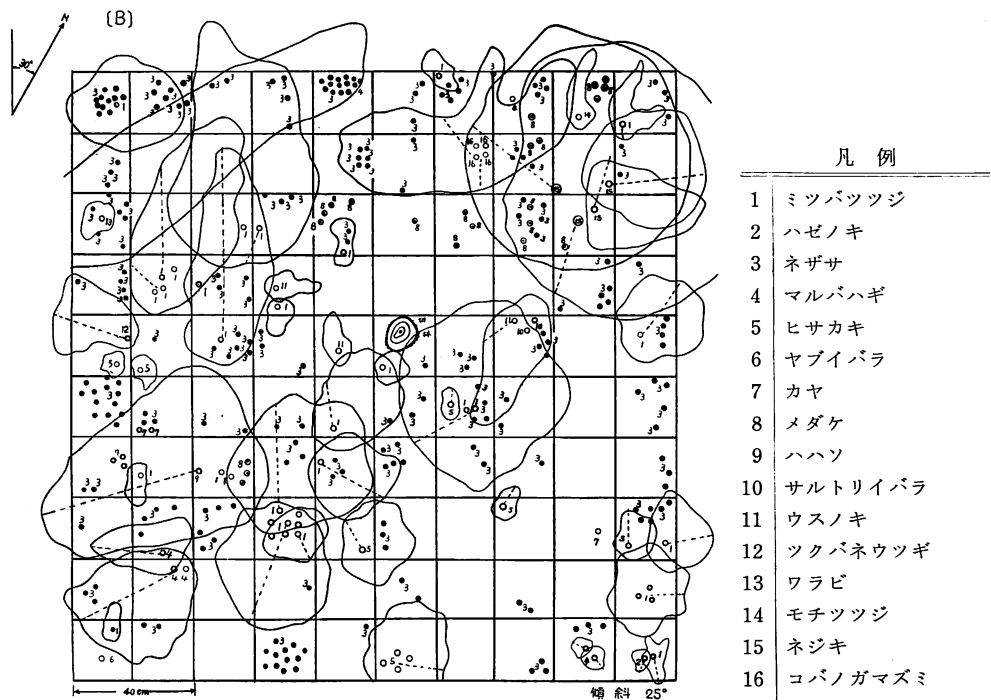
度 75% 以上を 5, 50~75% を 4, 25~50% を 3, 5~25% を 2, 5% 以下を 1 とした。

施したので, 翌 30 年 9 月取り急ぎ下刈り地を除き, ふたたび植生調査を行なった。調査の方法は大体前回と同様である。

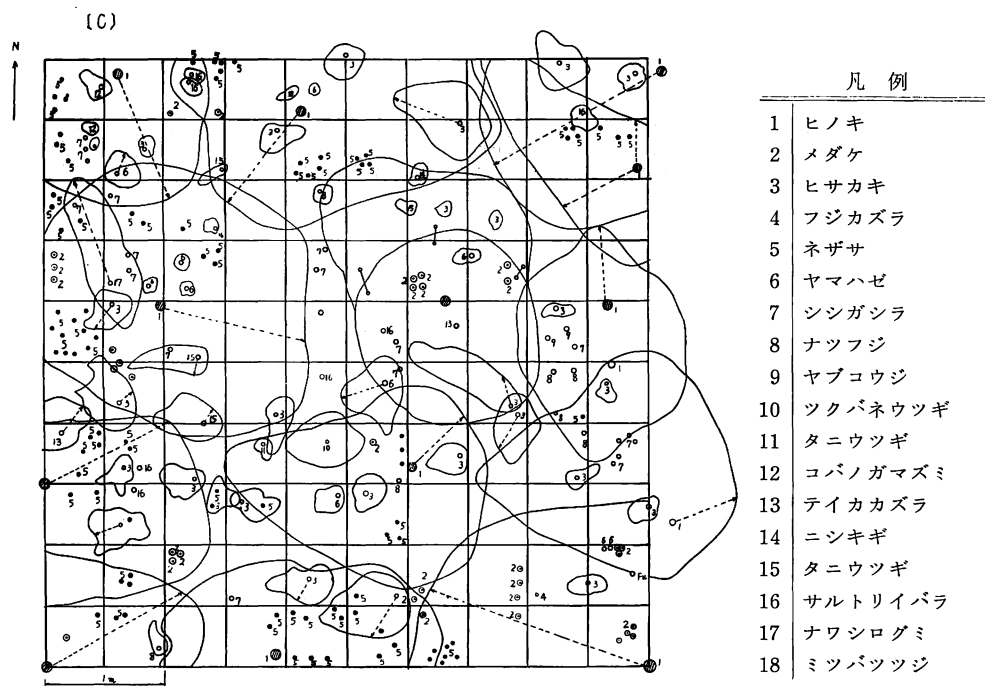
a) 林相の概要

i) 南 谷

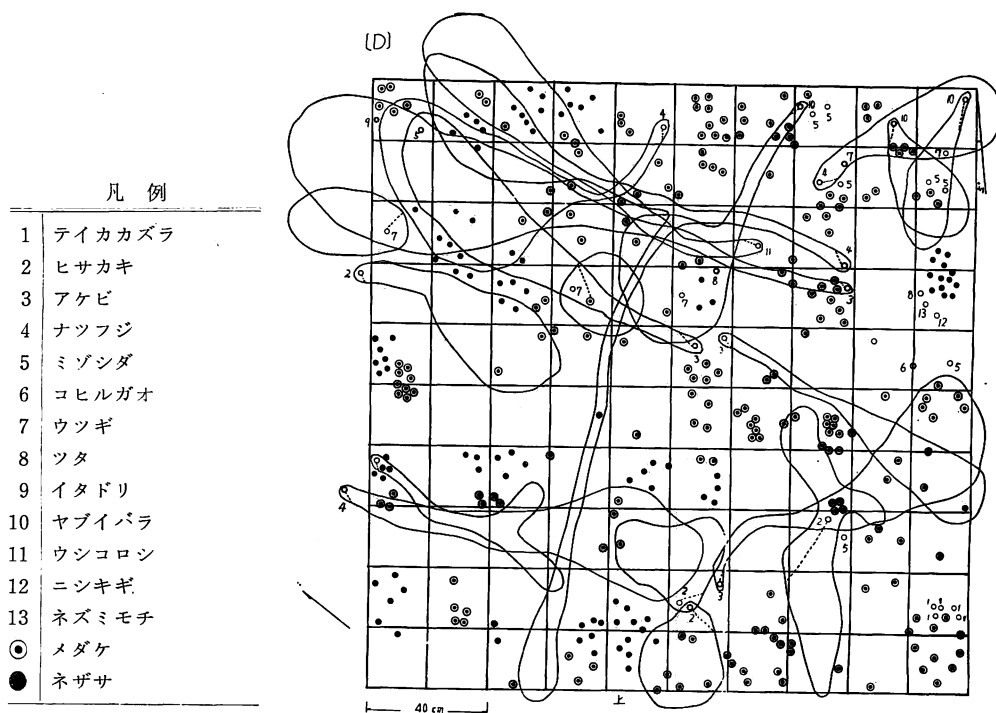
全般的にみてその植生型は, 伐採前に比べて単純となつてゐる。西端の沢に 0.3 ha 程度のヒノキ壮齡林(約 35 年生)が存在する以外は, ササ類を主とし, ツツジ, ヒサカキ, ソヨゴ等の低木生のものがお



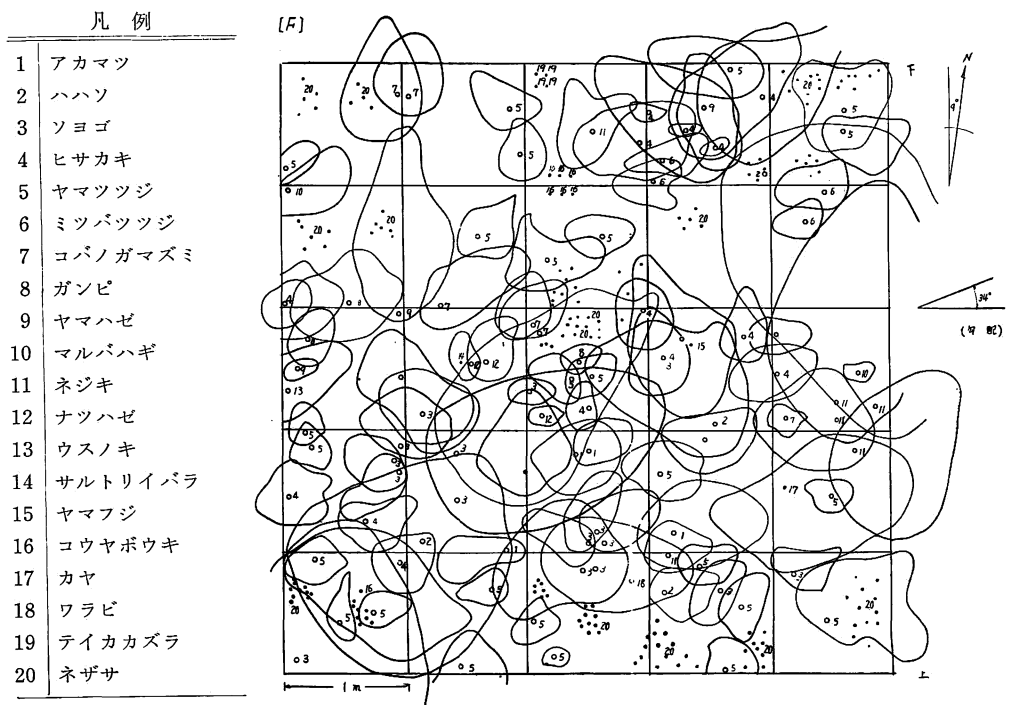
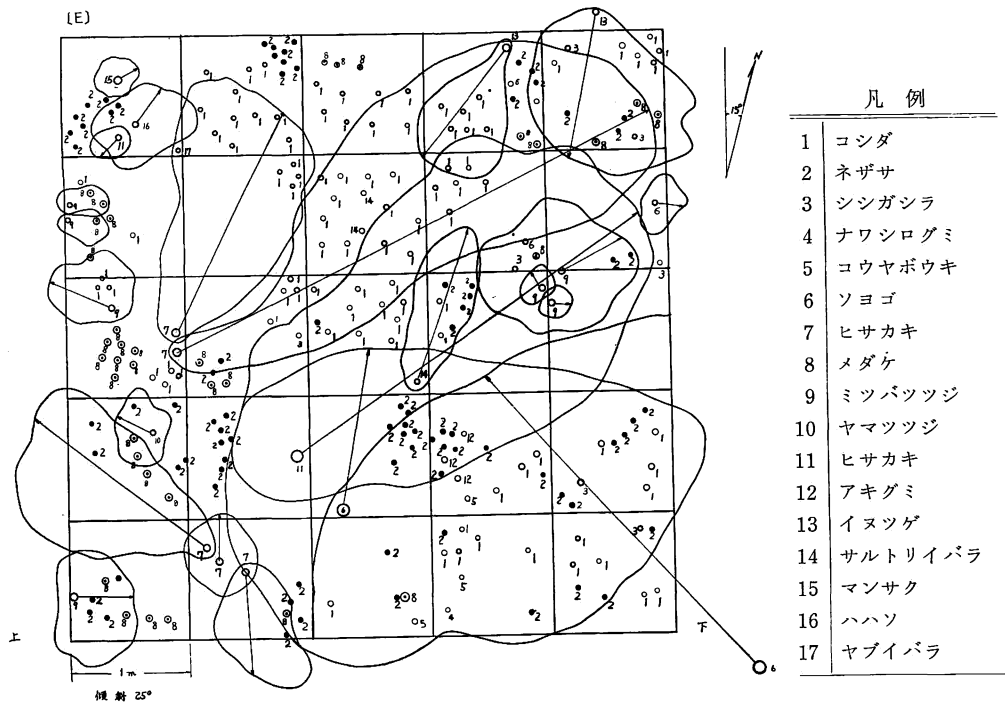
第2-2図

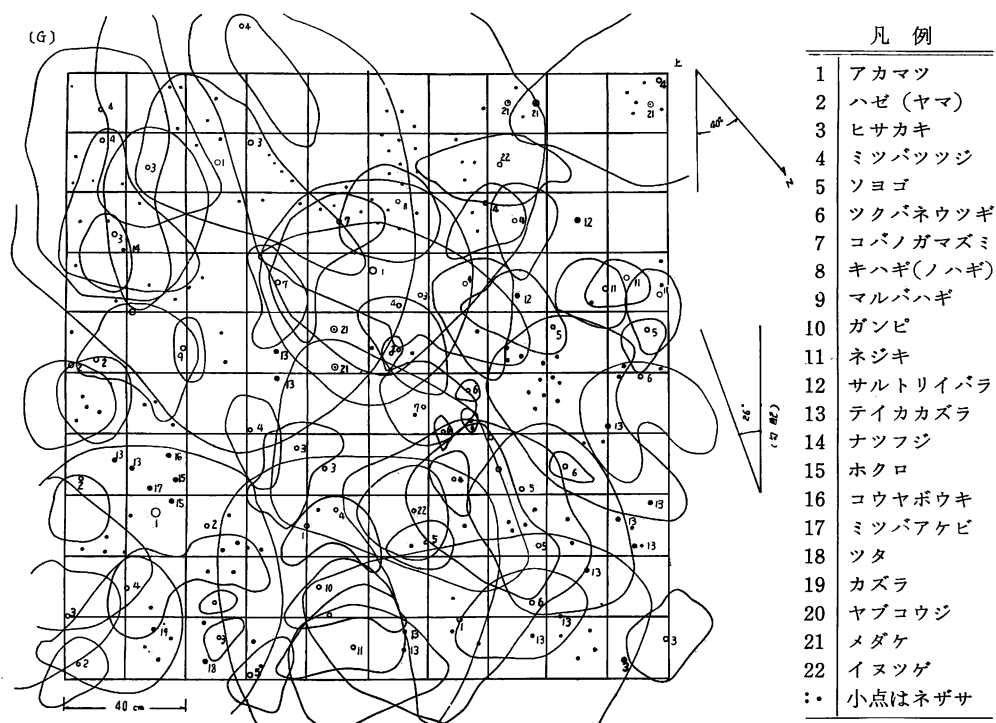


第2—3図

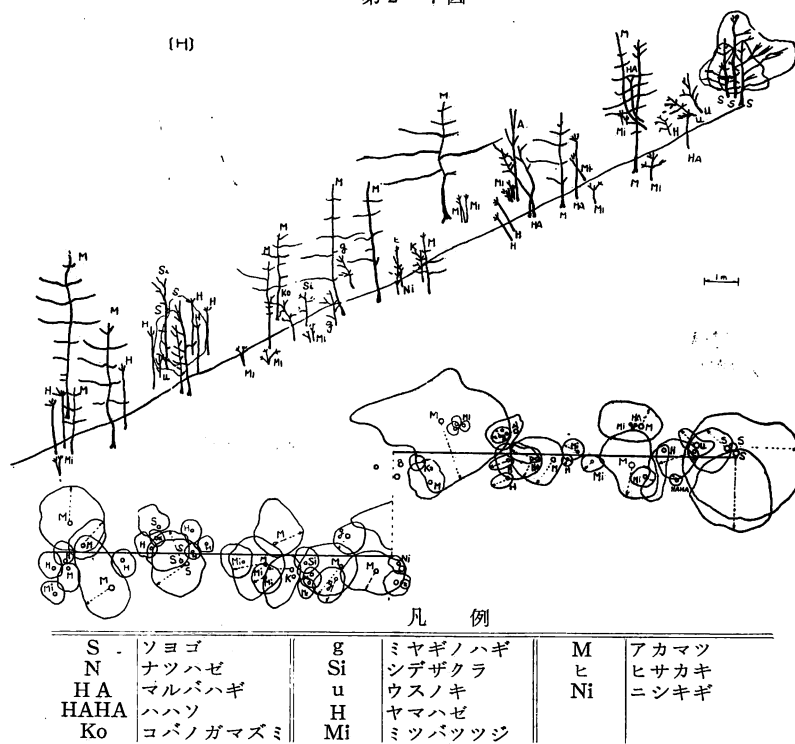


第2—4図



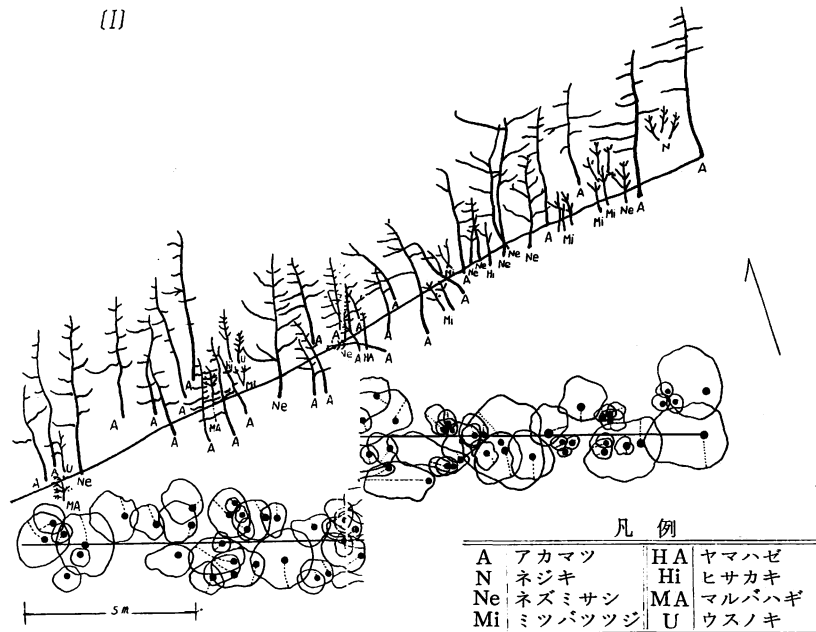


第 2—7 図



第 3—1 図

第 3 図 ベルトトランセクトの平面図および側面図
Fig. 3 Projection and side view of belt transect



第3—2図

い茂りウツ閉が比較的密である。このうち南北両谷の境界の尾根付近を中心として中腹に向かい、アカマツの稚樹幼齢木の生育が良く、ササの被圧に堪えて次代の優勢木となりうるものと予想される。また内部の小さい尾根にもアカマツの幼齢木が密生し、ところどころに団地を形成している。北側中腹から尾根一帯にネズミサシがササ、ツツジ、アカマツの中に多数混生し、良好な成長を示している。南側の尾根筋から中腹にかけ高さ2m余のメダケが密生し、下部植生の侵入を許さない状態である。この付近は伐採前にはアカマツの疎林のあつたところで、植生変移の比較的少ない区域であろう。中腹以下は部分的にメダケの密生するところもあるが、概してネザサの頻度が高く、その中にツツジ、ヒサカキ、ソヨゴ、ヤマハゼが山麓から中腹にわたり広く侵入している。ササの密度の小さいところにはシダ類がおもに地面を被覆している。

ii) 北 谷

北側の尾根筋一帯は、ところどころ岩盤露出し土壌が浅く瘠悪林地で、アカマツ壮齢林が比較的密であるが、その生育はきわめて悪く、林内にツツジ、ネジキ、ソヨゴ、ヤマウルシ、ササ、カヤ等が散生している。東側の尾根に近い部分や量水堰堤付近にヒノキ壮齢林が小団地をなしていて、コナラ、ソヨゴ、ヤマウルシがその中に散在し、下方にはネザサ、サルトリイバラ、蔓茎植物が林地をよく被覆している。この2団地を除けばササ類や一部コシダが優勢で、流域の大部分を占めている。北谷の南側半分、とくに南谷に接する尾根付近は傾斜も比較的緩やかで土壌条件も良好であり、植生密度が流域中最も高く、ネザサの中にアカマツ、ソヨゴ、コナラ、ハゼ、ヒサカキ、ツツジ等がかなりの頻度に生育し、とくにアカマツ幼齢木の生育が良好で、やがてアカマツ林への移行が確実と見られる。この辺一帯はその植生密度においてほぼ伐採前に近い状態に回復していると推定される。

b) 植生型の区分

北谷の北側尾根筋のアカマツ瘠悪壮齡林と小面積のヒノキ林を除き、流域の大部分はネザサと前記諸樹種とが混生していて、これを細分すれば次の 4 型になろう。

i) アカマツ (壮)・ススキ群集

北谷の北側尾根に近いアカマツ瘠悪壮齡林で林齡 20~30 年、地質は石英斑岩型に近く土壌が浅いためその生育はきわめて悪く、下木としてネズミサシ、ツツジ、ネジキ等が散生し、その被度が小さい。その林型はベルトトランセクト (I) およびコードラート A によつて示される。面積は約 2 ha あまりである。

ii) ヒノキ・ササ群集

北谷の東側の尾根および北谷水量堰堤付近と南谷の西端の谷筋に小団地 (0.2~0.3 ha) をなし、約 30 年生のヒノキを上木としてコナラ、ソヨゴ、アベマキが散生し、下部植生は団地により多少の差があるが、ネザサの頻度が最も高く、メダケ、サルトリイバラ、ヒサカキ、シンガシラ等が混生している。その植生型はコードラート C がほぼこれを代表するとみてよい。

iii) アカマツ (幼)・ネズミサシ・ササ群集

南北両谷の境界線の両側にまたがり、中腹以上の地域で土質が比較的良好のため天然生のアカマツの稚樹、幼齡木の生育が非常に良く、漸次ササ、下木類を被圧して次代の優勢木たらしとする傾向がある。このうちとくに南谷の尾根付近はネズミサシの頻度がかなり高く、その生育も良好で、その他コナラ、ソヨゴ、ヒサカキ、ツツジが点在し、その被度は全流域中最も大きい。

面積は約 10 ha でコードラート G, F がほぼこれを代表する。

iv) ササ・メダケ・ツツジ群集

メダケが最も優勢で、その分布区域も多少ネザサと異なるが、これを細分するほどのこともないので一緒に包括した。本流域でこの植生型の分布が最も広く、局部的にコシダの被度の高いところもある。南谷流域の小さい尾根筋には、アカマツの幼齡林がところどころに小団地を形成している。中腹以下はソヨゴ、コナラのほか、ツツジ、ヒサカキ、ヤマハゼがかなりの頻度に混入している。南谷の中腹以上のメダケの密生地では下部植生の侵入はほとんど見られない。

この植生型はコードラート B, D, E で代表せられる。

D. 伐採前後の比較

両時期の植生型に大きな差があるが、前・後期の植生調査の方法や場所に多少相違があるため、各期のコードラート内の植生頻度ならびに被度の平均で両期の植生の比較を行なうことは厳密には種々問題もあるが、これによつてはほぼその植生変移の概況を推測できると考えられる。

伐採前後の林相写真やコードラートの平面図によつても、上下木を含めた林地の被度は伐採前の方が大きいと判断されるが、第 1 表の指数によつても明らかに肯定できる。これはいうまでもなく全面積の 80 % を占めるアカマツ林の伐採によつて上木を失つたためで、その後ネザサやメダケの繁茂がいちじるしく、一応林地の被度はかなり回復してはいるが、他面下木類や草生がネザサやメダケの被圧を受けてその種類や頻度が減少しており、全体としてその被度は後期に小さくなつていくことは否定できないであろう。ことに林冠の厚さというような立体的な点から考えると、当然前期がはるかに厚いはずである。これを地域的にみると北谷のアカマツ瘠悪林地や両谷のヒノキ林はほとんど変化がないとみられるし、山麓部の草生地、アカマツ疎林もいちじるしい変化を受けないであろうが、全流域の半ばを占める中腹以上のアカマツ林の密度中および密なる部分が顕著な植生変化をしている。このうち南北両谷の中腹以上の部分は、

しだいに前期の林相に復帰せんとする傾向がみられる。このことはコードラート前期2号と後期Gとの比較や、ベルトトランセクト前期Bと後期Hとの比較によつても推定できる。その他局部的に回復速度の早い小団地もあるが、大部分はネザサ、メダケが安定した植生を示し、その天然更新は容易でないと思われる。

伐採前後の林況の変移の概況は以上のとおりであるが、前述したように原林相は老齢アカマツを主とした比較的疎なる林分であるため下部植生の種類や被度が大きい。

したがつてこの場合のアカマツ林の伐採は、スギ・ヒノキ林や広葉樹林の皆伐とかなり趣きが違い、植生密度の変化が小さく、流量におよぼす影響も前記の場合に比べて比較的軽微でないかと考えられる。

E. 伐採面積および伐採本数の推定

伐採直後の植生状況については、当時担当者不在のため調査資料がほとんど残されていないが、本試験の第1回報告¹⁾の森林調査の結果と後期の林況から推定すると、

	面 積 (ha)	本 数	材 積 (石)	樹 齢 (当時)
北 谷				
幼 齢 林 (北側斜面の天然生林)	4.30	11,740	530	29
同 上 (大鳥居付近)	0.51	330	120	26
同 上 (量水所付近)	0.66	590	40	26
老 壮 齢 林	9.80	4,000	6,540	100~120
計	15.27	16,660	7,230	
南 谷				
老 齢 林	17.55	7,990	11,622	100~120

上表のように伐採面積では北谷が全流域面積の85%、南谷では78%と北谷の伐採率が高く、その本数も同様北谷に多いが、その一部は幼齢瘠悪林であるため、その伐採石数では南谷の方が総材積はもちろん、伐採面積あたりの平均材積も北谷よりはるかに大きい。またそれぞれの流域面積あたりの平均材積でも南谷がやや大である。

伐採本数と伐採材積のいずれが林地攪乱の度において比重が大きいかは一概にいえませんが、林地の被度や樹冠量等の点から考えれば、おそらく後者の影響を重視すべきではないと思われる。しかし北谷の幼齢林地は傾斜がとくに急であり、地質は石英斑岩と古生層との接触地で土壌が浅く瘠悪林であるから、この部分の大量の伐採はその材積はわずかであるにしても、土壌保全の上に相当影響をもたらしたものと想像できる。いずれにしる地形、地質の面を無視して立木本数や材積のみを比較の基準とするのは必ずしも妥当といえないが、両谷ともhaあたりの材積は本州一般のアカマツ施業林に比してやや小さく、比較的疎なる方の林分に属すると思われるので、その伐採による影響を他と対比する場合、この点も多少考慮すべきでなかろうか。

F. 下刈りの状況

昭和29年岡山営林署岡山事業区の経営案編成にあたり、林業試験場との協議のもとに、南谷にヒノキを植栽することとなり、下のような年度別施業計画を建て、同営林署直営で計画どおり実施された。

(イ) (植生概況図後期参照)

面積 7.5 ha

昭和 29 年 10 月筋刈り地拵

30 年 3 月 ヒノキ 22,500 本植栽

30 年 8 月

31 年 8 月 } 撫育のため筋刈り

32 年 3 月 }

(ロ) 面積 3.2 ha

昭和 30 年 11 月 筋刈り地拵

31 年 3 月 ヒノキ 9,600 本植栽

31 年 7 月

32 年 3 月 } 撫育のため筋刈り

(ハ) 面積 4.0 ha

昭和 30 年 11 月 筋刈り地拵

31 年 3 月 ヒノキ 12,000 本植栽

31 年 7 月

32 年 3 月 } 撫育のため筋刈り

(ニ) 面積 4.8 ha

昭和 32 年 2～3 月 全刈り地拵

32 年 3 月 ヒノキ (3.0 ha) 9,000 本植栽

クロマツ (1.8 ha) 5,400 //

32 年 7 月 撫育のため全刈り

以上 4 区の中 (イ)(ロ)(ハ) 区は、5～6 月の乾燥やササ、メダケの被圧を受け成績不良 (枯損率 50%) のため昭和 32 年 3 月で撫育を中止し、4～5 年後に再植の予定である。また流域内に散在するアカマツ天然生の小団地に対しては、撫育を加えてその成林をはかる。なお全刈りの際伐採せられたソヨゴ、ネズミサン、コナラ等の雑木類やメダケは即時流域外に搬出されたが、これがため林道が一時荒廃し土砂流出量が増加した。

Ⅱ 流 況 概 要

最大流量に対する検討を加えるに先だつて、本試験地の総括的な流況の変化および平常水位や土壌水分の林相別の差、地表流量と植生との関係についてその概略を述べる。

A. 流量の経年的変化の概況

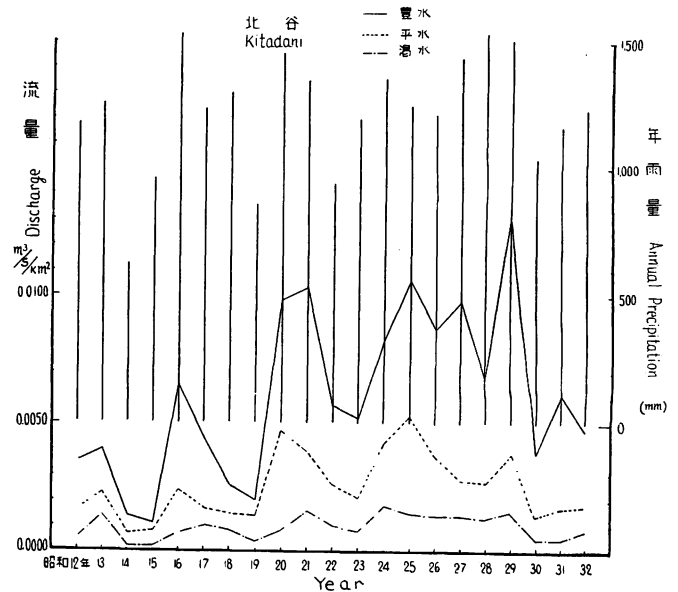
河川学で普通用いられているように、1 年間の日流量を頻度別に豊水量、平水量、低水量、渇水量の 4 階級に分け、その各種流量 (低水量は省略) について昭和 12～32 年の 21 年間の経年変化を第 4 図に示した。年雨量は第 4 図のように年による変化が大きく、時期別の差は明りようでないが、その平均においては後期がやや大きく、前期下刈り期はほぼ等しいとみられる。まず豊水量を時期別にみれば、南北両谷とも後期が前期より増大しており、とくに北谷にそれがいちじるしい。

これは雨量のみに起因するのでないことは、個々の年雨量とその豊水量とを検討することによつて十分みとめられることである。下刈り期では年雨量の減少の影響もあるためか、北谷では後期より小さくなっているが、前期に比べればなお大きい。一方南谷では同期に北谷ほどの減少のみられないのは下刈りの影響に帰するのが妥当のようである。平水量は豊水量ほど変化が大きい、それとほぼよく似た増減を示しており、両谷とも後期の増加は明りようであるが、前期と下刈り期の差は北谷ではほとんどないのに対し、南谷ではやはり下刈り期にやや大きい。渇水量についてはその年および前年の雨量によつて大きく左右されるが、両谷を平均して後期に最も大きいのは他の流量の場合と同様であり、北谷では前期と下刈り期にほとんど差がないのは、伐採後10カ年を経過してその植生密度がおおむね回復し、その消失水量がほぼ等しくなるためによるのであろう。

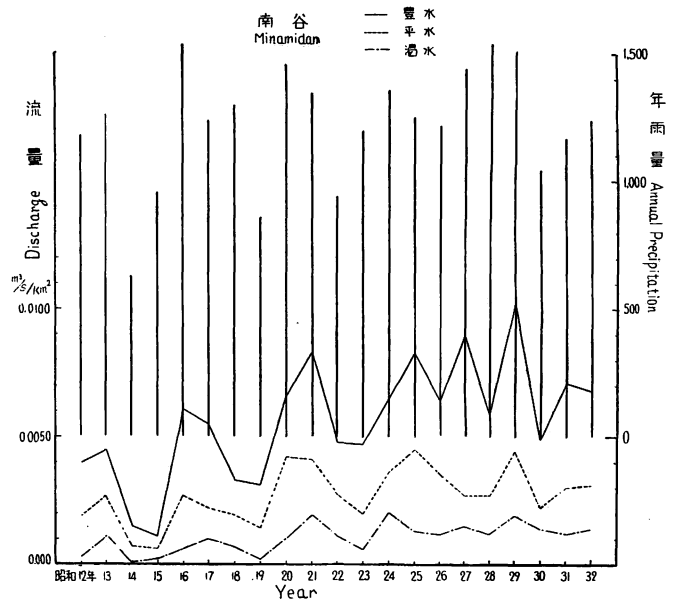
これに対し南谷では下刈り期と後期との差はなく、年雨量の減少を考慮すれば渇水量は相対的に増加の傾向があるともみられる。これは明らかに下刈りによる林地の

消失水量の減少に基づくとしか考えられない。このように年を単位とする流量の経年的な考察においても、伐採により高水量・渇水量ともに増加し、植生の回復とともにふたたび減少の傾向があり、その程度は流域条件によつて違うということ、および下刈りによつて、高水量にさしたる変化はないが、低水量は確かに上昇の傾向のあることが認め得られた。

B. 平常水位や土壤水分の変化



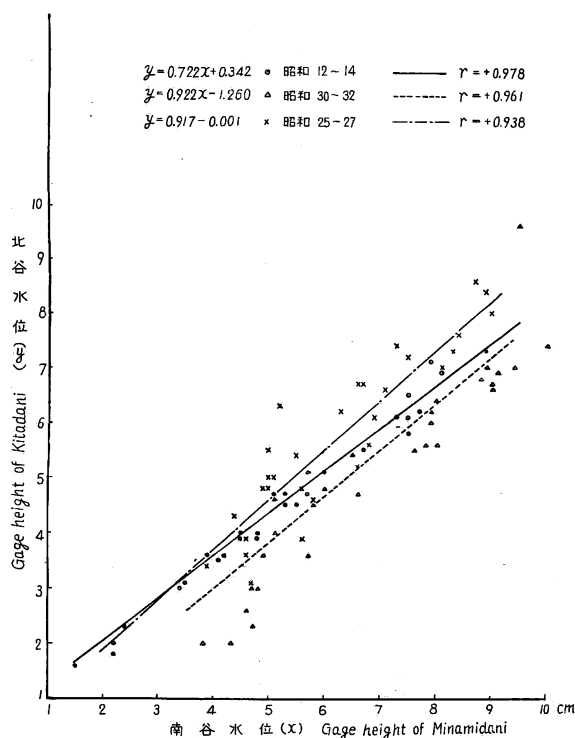
第4—1図



第4—2図

第4図 流量および降水量の経年的変化

Fig. 4 Annual change of runoff and precipitation



第 5 図 南北両谷水位の比較

Fig. 5

Relation between gage heights of Kitadani and Minamidani のそれぞれ 3 カ年を採った。これら 3 期間の増水記録から、その開始前の水位を南北両谷別に対比してプロットし、その最小二乗線を求めると第 5 図で、これによつても平常水位の谷別・植生別の変遷を推定することができる。すなわちいずれの時期とも、南谷の水位が北谷より高く（このことは単位流量も同様に大きいという意味ではない）、後期では植生の変移が北谷に、より大きいため、南谷に比べ北谷の水位上昇がやや大きく、ことに水位の比較的高い時ほどその傾向は明りようである。一方下刈り期では北谷の同水位に対する南谷の水位が、後期に比べて 1.0~1.5 cm 上昇していることは、両谷の植生の差、すなわち南谷の下刈りによつて生じたものであることをうらがきする。また本資料の平均で時期別の比較を行なうことは、年雨量や資料のとり方にも多少問題があり、厳密には妥当とはいえないが、南谷では(5.4→6.2→7.1 cm)と前・後下刈り期の順に上昇しているが、北谷では(4.6→5.7→5.5 cm)と下刈り期に小さいのは、後期よりさらに植生密度を回復したためによるのであろう。このように平常水位は植生密度の変化に応じて上昇・低下するものと推定されるが、さらにその傍証を得るため昭和 32 年 1 月から 12 月にいたる 1 年間各植生別土壌水分を測定した。植生の種類はヒノキ林（疎）、灌木草生地（ツツジ、コシダ密生）、ササ地（高さ 1 m のネザサ密生）、アカマツ林（樹齢約 20 年、樹高 6, 7 m の壮齡林で林内にネザサ、シダ、灌木密生）、裸地（アカマツ林の植生被覆を剥奪し、A 層、B₀ 層を欠く）の 5 種とし、傾斜はヒノキ林を除いてはほぼ 30° で等しく、地表面付近の照度は裸地、灌木地の両極端を除いてはほとんど同程度とみなされたし、また土壤条件も外觀、粒径分布とも大差がなかった。第 2 表の乾燥時とは無降雨日が 4~5 日以上続いた後を指すが、その場合の四季別の平均では、アカマツ林の最も乾燥していることが顕著に現われている。その分散分析の結果によつ

降雨後の増水量が伐採により増加することはさきの報告¹⁾や前項の豊水量についての検討で十分明らかにされたが、その原因としては植生の遮断雨量や林地保留雨量の減少が根本的なものであろうが、増水前の平常水位の上昇もこれに関連あるものと想像される。

しかしその水位の変化は本質的に林相の差により招来したものか、年雨量の差によるものか、にわかに判定を下しがたいため、ここではそれを両谷の水位の対照や、林相別土壌水分の比較によつて検討を試みた。

対象の時期としては、虫害にかからなかつたアカマツ老齡林の健全期として昭和 12~14 年を、伐採後 4~6 年を経過して伐採による攪乱から一応安定したとみられるササ雑木林の昭和 25~27 年を、また下刈り 2 年目の昭和 30~32 年

第2表 各植生の土壌水分
Table 2. Soil moisture of different vegetations

		ヒノキ林 <i>Chamae- cyparis</i>	灌木地 Shrub	ササ地 Bamboo bush	アカマツ林 <i>Pinus densiflora</i>	裸地 Bare	平均 Mean
乾燥時 After several dry days	冬 Winter	21.6 20.1	19.0 22.5	25.1 24.6	16.5 13.2	20.4 16.7	20.0 19.4
	春 Spring	26.1 26.0	27.1 24.9	23.1 24.6	18.9 18.2	27.9 23.8	24.1 23.5
	夏 Summer	22.3 20.1	20.9 21.5	26.9 27.3	15.6 16.4	21.9 20.4	21.3 21.1
	秋 Autumn	24.8 21.6	26.2 19.5	28.8 29.9	19.4 21.6	25.4 23.5	24.1 23.4
	平均 Mean	23.7 22.0	23.3 22.1	26.6 26.6	17.6 17.4	23.8 21.1	22.4 21.9
	冬 Winter	25.0 27.8	23.1 24.7	34.9 31.2	25.0 19.4	42.2? 24.2	30.0 25.5
	春 Spring	26.4 25.5	34.0 33.6	33.9 28.1	24.7 25.2	31.4 27.7	30.1 28.2
降雨後 After rainfall	夏 Summer	29.9 27.3	33.8 30.3	36.0 23.0	22.8 25.0	31.8 28.4	30.8 26.8
	秋 Autumn	31.4 23.5	36.2 27.2	37.2 32.4	25.5 27.2	24.0 24.0	30.8 26.9
	平均 Mean	28.2 26.0	31.8 29.0	35.5 28.7	24.5 24.2	32.4 26.1	30.4 26.9

上欄 地中 10 cm, 下欄 地中 30 cm.

Upper column; 10 cm depth, lower column; 30 cm depth.

土壌水分の分散分析表
Analysis of variances of soil moisture in 10 cm depth

	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	分散 Variance	分散比 F	1% の F (F 0.01)
植生別 Vegetation	157	4	393	9.8	5.41
時季別 Season	74	3	247	6.2	5.95
誤差 Errors	49	12	40		
総計 Total	280	19			

ても、植生別時季別ともにいちじるしく有意の差のあることがわかる。そこでどの植生、どの時季の間に有意の差があるかを STUDENT の式を用いて最小有意差を求めると、

$$\text{植生別には } \Delta x = 2.75\%$$

$$\text{時季別 } \Delta y = 3.08\%$$

となり、植生別にはアカマツ林の土壌水分は他のどの植生との間にも有意の差があるが、アカマツ林を除く他の植生相互の間に有意差がみられなかつたが、ササ地が最も土壌水分に富んでいるようであつた。また時季別には冬季と春季および冬季と秋季の間に有意差がみとめられた。冬季について夏季は乾燥しているはずであるが、他の時季との間に有意差がない。もつとも夏季には雨期の6、7月を含んでおり、これを除いた8月は年を通じて最も土湿の小さい月であつた。地中 30 cm の土壌水分については地下 10 cm のそれとの差が意外に少なく、細かい検討を加えなかつたが、ほぼ同様な傾向があるのではないかと想像さ

れた。

また降雨後の植生別土壌水分の平均値については、検定を省略したが、無降雨時の場合と同様に地下 10 cm ではササ地が最も湿潤であり、裸地がこれにつぎ、灌木類、ヒノキ林の順に小さく、とくにアカマツ林とササ地との含水率の差は 10% におよんでいる。一方地中 30 cm は地中 10 cm よりかえって小さく、降雨強度の比較的弱い当地方では、この深さへの降雨の影響の小さいことを示しており、また植生別の差も上と比べていちじるしく小さい。要するにアカマツ林が他の植生に比し乾燥時、降雨後とも土壌水分の少ないのは土壌そのものの相違によるとは考えられないので、植生の生理作用に基づくものと推定される。一般にアカマツ林では宮崎の提唱せるように、アカマツの根に寄生する菌根により透水性が悪くなると考えられているが、本試験地の 2 つの植生別土壌資料について本場土壌調査部で調査せる結果では、アカマツ林土壌が灌木地の土壌に比べやや透水性の劣ることを認め得たが、菌根の存在は不明であった。著者らの調査では局部的に、それらしきものの存在が認められた。一方アカマツ林では比較的蒸散量が多いとされているので、林地乾燥の主因がそれにあるのかもしれないが、断定の根拠が十分でない。裸地の土壌水分が四季を通じて一様性の高いのは、長年の雨滴の衝撃で土の滲透能が低く、水分の受け入れが少ない上に、土の孔隙に乏しいため毛細管による水の移動は少なく、したがって蒸発による地中水分の減少の小さいことに原因するものと信じられる。以上の検討でアカマツ林地はササ地に比べ土壌水分の少ないことが立証され、これが間接に地下水位の変化とも関連ありと推定される。すなわち伐採後、下刈り後の平常水位の上昇は年雨量の増加のせいではなく、植生それ自体の変遷によるものと判断され、これが流量の増加にも間接に影響するのであろう。

C. 地表流下量と下刈り・開墾について

強雨時のピーク流量のうち地表流下量は重要な部分を占めるものと予想されるが、さきの報告²⁾に述べたように一般に林地の地表流下量はきわめて少なく、年間全流量の 10% にも満たないものであるが、しかしそのピーク時の瞬間単位流下量は往々谷の最大単位流量を凌駕する場合もあつて、その存在は無視できないが、他面流下時間が降雨集中時に限られるため、短時間の降雨では多少の地表流下があつても河底に入るまでに斜面に滲透する機会が多く一般に谷の流量に対して大きな影響を示さない。しかし雨の量と時間が増加するにつれ地表流下量はいちじるしく増加し、豪雨時のピーク流量は主として地表流下量によつて形成されるとみられるが、その定量的解析は容易ではないので、ここでは地表流下試験に現われた傾向のみについて述べる。

一般に流下量は林相により多少差のあるものとされ、本試験地でも滲透の不良な落葉腐植層をもつといわれたアカマツ老齢林にやや多く、壮齢、幼齢、灌木林の順に少なくなっているが、その差はごく小さい。南谷の下刈り後の流量との関連をうるため、地表流下量が植生の刈り払いや林地の開墾によりどの程度変化を受けるかの試験を 1 号 A 区で行なつたが、その結果の概要を述べる。試験区の地況や既往の経過については前に略述したが、昭和 29 年 6 月の下刈り前の植生は 1 号区の A、B 両区ともコシダとケネザサが被度の大部分を占め、その中にソヨゴ、ナツハゼ、ミツバツツジ等の灌木類が 3 m² に 1 本程度の頻度で散生し両区の植生に大差は認められなかつた。A 区の下刈り前の地表流下の傾向は B 区のそれとはほぼ等しいが、流下量は 1、2 の例外を除いて B 区より常に多少小さく、50 mm 前後の降雨でも 1 mm にも達しなかつた。それが下刈りの 6 月 19 日以降流下量は急増した (第 3 表)。B 区においては昭和 27 年 7 月、灌木類を除いて下部植生のコシダ、ケネザサの刈り払いを行なつたことがあり、この結果については前²⁾

第3表 下刈り・開墾前後の地表流下量
Table 3. Surface runoff before and after weeding and tillage

	月 日 Date	雨 量 Precipitation	Plot B		Plot A	
			流下量 Surface runoff	流下率 Rate of runoff	流下量 Surface runoff	流下率 Rate of runoff
下刈り前 Before weeding	29. 3. 1	mm 16.5	mm 0.011	% 0.1	mm 0.002	% 0.0
	4. 5	20.8	0.076	0.4	0.007	0.0
	4.11	47.7	0.160	0.3	0.040	0.1
	4.17	15.3	0.014	0.1	0.002	0.0
	4.26	15.4	0.002	0.1	0.002	0.0
	5. 3	16.8	0.235	1.4	0.007	0.0
	5. 6	26.3	0.207	0.8	0.022	0.1
	5.14	29.0	0.117	0.4	0.005	0.0
	5.21	31.1	0.017	0.1	0.007	0.0
	5.24	25.4	0.098	0.4	0.008	0.0
	6. 1	34.9	0.095	0.3	0.013	0.0
	6. 5	43.6	0.217	0.5	0.994	2.3
	6. 9	21.3	0.044	0.2	欠	
	6.13	34.9	0.043	0.1	0.007	0
	平均	Mean		0.36		0.19
	6.19	17.2	0.062	0.4	0.005	0.0
	6.22	55.8	0.435	0.8	3.341	6.0
	6.25	42.4	0.101	0.2	2.008	4.7
	6.28	22.8	0.083	0.4	0.094	0.4
	6.29	83.9	0.257	0.3	16.452	19.6
下刈り後 After weeding	7. 4	153.7	0.344	0.2	32.440	21.1
	7. 8	17.8	0.067	0.4	0.111	0.6
	7.14	31.1	0.032	0.1	0.161	0.5
	8.30	20.4	0.142	0.7	0.378	1.9
	8.18	46.7	0.314	0.7	1.681	3.6
	8.28	20.1	0.119	0.6	0.995	5.0
	8.30	57.9	0.413	0.7	2.644	4.6
	9. 2	18.7	0.011	0.1	0.177	0.9
	9. 7	25.0	0.043	0.2	0.140	0.6
	平均	Mean		0.41		4.9
	9.17	17.3	0.046	0.3	0.013	0.1
	9.25	56.8	0.091	0.2	0.312	0.5
	9.27	34.8	0.055	0.2	0.028	0.1
	11.27	54.7	0.219	0.4	2.291	4.2
開墾後 After tillage	12. 7	29.6	0.109	0.4	2.360	8.0
	30. 2. 7	16.4	0.014	0.1	0.012	0.1
	2.19	17.3	0.013	0.1	欠	
	2.27	35.1	0.022	0.1	1.218	3.5
	3. 8	18.7	0.010	0.1	0.087	0.5
	3.22	18.4	0.008	0.0	0.144	0.9
	3.27	20.2	0.011	0.1	0.498	2.5
	4.15	90.0	0.100	0.1	4.008	4.5
	4.30	43.9	0.131	0.3	2.704	0.9
	5.11	31.9	0.175	0.5	1.548	4.9
	5.24	26.7	0.081	0.3	1.951	7.3
	6.15	35.4	0.014	0.0	3.140	7.5
	6.18	35.1	0.022	0.1	2.203	6.3
	平均	Mean		0.20		3.1
	32. 6. 5	23.0	0.017	0.1	2.104	9.1
	6.26	103.1	0.571	0.6	11.253	10.9
	7. 2	84.9	0.811	1.0	5.850	6.9
開墾2年後 2 years after tillage	7. 9	19.6	0.268	1.4	0.810	4.1
	7.10	19.2	0.117	0.6	1.367	7.1
	7.17	63.3	0.463	0.7	6.884	10.9
	8.23	101.1	2.064	2.0	2.265	2.2
	9. 7	36.3	0.123	0.3	5.011	13.8
	9.10	42.0	0.024	0.1	3.779	9.0
	9.16	55.6	0.179	0.3	4.758	8.6
	9.22	14.8	0.046	0.3	1.159	8.6
	9.24	33.0	0.182	0.6	3.174	9.6
	9.29	28.0	0.011	0.0	1.120	4.0
	10. 6	30.8	0.021	0.1	2.381	7.7
	10.29	16.9	0.016	0.1	1.004	5.9
	11.26	21.4	0.014	0.1	2.484	11.6
	平均	Mean		0.46		8.1

に報告したが、刈取り後の流量は刈取り前に比しむしろやや減少するかに思われた。また川口の報告では草生区の下刈りによつて流量は多少増加すると述べられているが、いずれもその差は小さく、下刈りの影響は軽微と推定された。これに対し第 3 表の下刈り後の増加は対照区 (B 区) に比べていちじるしいが、その原因としては、今回の下刈りは次段の開墾を予定していたので、前回に比していねいに地際から刈り払い下部の落葉とともに区外に運び去つたため、植生の遮断雨量を含めて林地の保留雨量が急に減少したことが主因とみなすのが妥当であろうが、一方アカマツ老齢林の古い伐根の腐植等で生じた中間流出の水みちが踏みつけ等により閉塞され地表流下となつて現われたとも考えられるふしもあり、以上の地表流下の増加を下刈りのみの影響に帰することに多少の疑問が持たれる。後述の南谷の流量が下刈り後においても増加の傾向を明らかに示さない点をも合わせ考えると、下刈りの地表流下におよぼす影響を過大に評価すべきでないと考えられる。

下刈り後 4 カ月を経過してから、同試験区全面にわたり深さ 15~20 cm の表土を耕耘した。その結果は第 3 表に見られるように下刈り後に比べかなり減少しており、とくに開墾直後にそれがいちじるしい。これはいうまでもなく耕耘により土壌 B 層が膨軟となり、滲透能が増加し、地表・地中における一時貯留雨量が増大するためであることは明らかである。しかしこの傾向は一時的のようで、時日の経過とともにふたたび増加の傾向があり、開墾後 2 カ年を経過した 32 年では開墾直後に比べ流量はいちじるしく増加している。これに対し、対照区の B 区は全期間を通じ各期平均 0.5% 以下でほとんど変化がみられない。

これは植生被覆のないため雨滴による衝撃が大きく、ために土壌間隙が閉され滲透能が低下することによるので、外部から植生の導入のない限りこの傾向はますます顕著になるものと思われる。以上の点から落葉腐植層の存在が理水上に大きな役割を占めているかは多言を要しない。いな、むしろ理水面の効果よりも侵蝕防止、土砂流出防備に、より大きな機能を発揮していることは、開墾後の土砂流出量が開墾前の数 10 倍に達している事実により証明されるであろう。要するに下刈りそのものによる流況の変化が小さいことは後述の南谷の下刈り前後における流況の変化によつても推知されるが、耕耘開墾その他林地土壌を攪乱する作業は、流域の流出機構にきわめて大きな影響を与えるであろうことは認めねばならない。

Ⅲ 最大流量の林相別解析

A. 比較の方法

最大流量の林相別比較を行なうにあつて、それに決定的影響を与える動的要素としては雨量とその土壌の乾湿条件が重要であるが、とくに雨量の内容、すなわちそれぞれの降雨における雨量の時間的配布の状態はきわめて変化に富み、異なる時期に質量ともに同じ内容をもつ降雨を求めることは不可能に近い。したがつて各林相別に同一雨量条件下の最大流量の比較は望めない。そこで最大流量を降雨前の土湿および降雨の量および強さの函数として表わし、同じ雨量条件に近い場合の流量を時期的に推定することにした。降雨の大きさを示す量としては、流量のピークまでの積算雨量を用い、雨量強度を表わすものとして 1 時間最大雨量をとつた。なお試みに 3 時間最多雨量をとり、1 時間最大雨量との優劣を比べたが大差がなかつたので後者を選んだ。もちろん、以上の 2 要素で降雨内容を表わすにはきわめて不十分ではあるが、多数の資料を取りまとめる上において、要素をさらに増すことは計算に多大の労力を要するので、この 2 つにとどめた。方法としては最大流量を時期別・谷別に、増水前の水位階級別に整理し、最大流量を水位とピークまでの積算雨量、1 時間最大雨量の各平均の函数として表わし時期別傾向の概略を求めると

第4表 時期別最大流量一覧表
Table 4. A table of peak discharge in each period

水 位 Gage height	資料数 No. of datas	ピーク流量 Peak discharge l/s		積 算 雨 量 Accumulated p. till peak mm		最大時雨量 Max. an hour p. mm/hr	
		範 囲 Range	平 均 Mean	範 囲 Range	平 均 Mean	範 囲 Range	平 均 Mean
北 谷 Kitadani							
前 期 Before cutting							
2~3	14	0.26~ 5.37	1.73	5.0~ 32.0	15.8	1.6~ 9.5	4.4
3~4	15	0.56~ 38.54	6.93	6.3~ 42.3	18.2	1.8~28.1	7.1
4~5	22	0.56~ 58.62	7.31	3.2~ 75.0	16.2	1.3~12.4	4.6
5~6	11	1.44~ 48.12	10.56	5.5~ 32.4	15.3	1.3~ 6.5	4.2
6~9	11	1.72~ 61.53	19.07	8.1~ 45.2	21.3	2.1~10.3	6.4
伐 採 中 During cutting							
3~ 4	19	0.62~ 35.11	5.95	6.3~ 47.5	18.7	2.0~11.9	4.4
4~ 5	18	1.10~ 19.45	5.65	6.3~ 32.3	17.2	1.8~17.7	5.5
5~ 6	14	1.03~ 82.38	16.89	6.5~ 43.6	20.7	1.8~14.0	5.6
6~ 7	12	1.92~216.61	40.97	6.8~122.1	30.2	2.7~29.9	8.5
7~ 9	11	2.69~161.28	37.14	5.3~ 44.3	21.1	2.2~15.4	7.5
9~12	14	4.18~399.31	73.80	11.9~ 91.7	30.5	1.6~18.5	7.4
後 期 After cutting							
3~ 4	8	0.49~ 26.22	5.34	5.5~ 47.8	15.7	2.2~20.6	7.0
4~ 5	22	0.62~263.40	18.43	4.7~ 73.0	18.4	1.7~12.7	4.6
5~ 6	23	0.92~187.32	25.00	4.2~ 58.7	20.9	1.4~25.4	7.0
6~ 7	23	1.18~153.12	25.02	2.7~ 47.7	16.8	1.5~35.5	5.9
7~ 8	19	1.57~ 56.58	13.97	4.4~ 33.8	15.2	1.8~ 7.7	3.9
8~ 9	8	3.85~212.14	37.68	6.7~ 53.2	19.9	1.6~12.5	5.0
9~12	19	7.20~652.23	85.32	9.6~ 53.7	24.4	2.5~17.4	7.3
南 谷 Minamidani							
前 期 Before cutting							
2~3	14	0.09~115.43	9.21	3.0~105.1	20.1	1.8~15.1	4.7
3~4	18	0.17~ 25.96	4.67	1.2~ 42.3	17.5	0.8~28.1	5.8
4~5	17	1.22~ 15.52	3.96	7.6~ 30.3	16.5	2.2~10.0	5.2
5~6	15	0.82~110.54	18.48	6.4~ 57.4	24.4	3.1~12.4	6.2
6~8	12	0.79~ 53.80	20.61	7.3~ 46.1	23.5	1.3~ 9.4	4.8
伐 採 中 During cutting							
2~4	11	0.62~ 18.82	2.89	7.5~ 43.3	16.0	2.1~12.6	7.2
4~5	11	0.89~ 26.73	6.22	8.9~ 47.5	18.9	2.1~17.3	4.7
5~6	20	0.99~ 46.30	9.39	6.4~ 54.2	23.4	1.8~16.7	6.0
6~7	12	1.22~ 39.83	6.24	6.3~ 36.5	16.7	1.8~14.0	4.9
7~8	18	2.32~460.23	62.86	5.3~ 91.7	32.6	1.6~29.9	7.6
後 期 After cutting							
4~ 5	14	0.62~ 27.50	4.19	4.7~ 47.8	14.4	2.1~20.6	4.6
5~ 6	41	0.85~180.79	15.76	5.5~ 73.0	22.1	1.7~15.3	5.4
6~ 7	24	1.03~108.15	13.43	3.9~ 51.8	16.7	1.5~26.2	5.6
7~ 8	27	2.69~ 96.68	36.14	9.0~ 45.4	22.7	2.6~35.5	7.2
8~ 9	14	2.26~122.97	31.96	6.1~ 47.7	20.3	1.6~34.7	7.4
9~12	25	2.82~594.68	56.38	4.4~ 53.2	22.2	2.5~19.4	7.0
下 刈 り 期 During weeding							
4~ 5	16	1.9~ 59.0	10.1	11.5~ 64.2	24.0	1.5~29.4	8.0
5~ 6	16	1.6~174.4	25.7	8.4~ 88.8	28.9	3.7~18.9	8.1
6~ 7	13	1.6~ 66.7	17.4	4.5~ 41.8	20.6	2.8~12.6	6.5
7~ 9	14	3.9~143.1	36.0	7.4~ 78.4	28.4	3.9~23.0	9.5
9~12	5	4.6~108.2	49.4	6.6~ 42.7	27.0	2.0~12.1	6.8

ともに、第4表を導いた原資料によつて最大流量を雨についての上記2変数の函数として、各水位階級別に関係式を求め、各係数の時期別変化の状態を検討した。また別に式の形で比較を容易にするため最大流量を保留雨量のみの函数として表わし、林相別の差を比較した。さらに、植生の理水機能に限度のある

ことが予想されるので 100 l/s 以上のとくに大きい出水の場合についても、なお流量調節機能があるかの検討を行なった。最後に年最大流量や、 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ を超過するピーク流量について、確率法則を適用し、その理論的頻度を推定し、どの時期にその出水頻度が最も高いかの比較考察を行なった。

B. 最大流量と水位・雨量およびその強度の関係

増水曲線のとくに複雑なものを避け、流域別・時期別に最大流量を水位階級別に集計平均したのが第 4 表である。ここで前期を昭和 12～15 年としたのは 16 年以降のマツクイムシによる被害の時期を除き、とくに健全林相期のみを対象としたものであり、後期を昭和 25～28 年としたのは伐採中（昭和 19～21 年）との間における、時期的な差を大きくすることにより各期の流量の差をより明りように把握できることを期待したためであり、後期は伐採後数年を経て多少林相の回復したササ、雑木林の時期にあたる。第 4 表の水位階級別の資料は、最大時雨量、積算雨量とも範囲が広く、水位別にもそれぞれの間にかなりの差があるので、その平均をもつてその水位階級の代表的雨量条件とみなすことは必ずしも当を得たものとはいえないが、これによつても概略の傾向を察知しうるものとする。

本表を概観するに、各期とも、水位の上昇に応じてピーク流量増加の傾向は明りようであるが、積算雨量とピーク流量との関係はそれほど明りようでなく、ことに最大時雨量との関係がさらに小さいように見える。実際に最大流量と、各変数との単相関係数を求めると、時期により多少違うが、水位との相関がおおむね最も高く、最大時雨量との相関が最低である。

第 4 表から $\log R = a \log x + b \log y + c \log z + d$ (R = 最大流量, x = 積算雨量, y = 1 時間最大雨量, z = 水位) と考え、資料数を重みとして、 $\log R$ と $\log x$, $\log y$, $\log z$ との重相関係数を求めると各期とも下記のように非常に高いのでその関係式を最小二乗法で算出した。

北谷前期	$\log R = -2.473 \log x + 1.858 \log y + 2.316 \log z + 1.093$	重相関係数 $\rho = +0.993$
伐採中	$\log R = -1.812 \log x + 0.251 \log y + 1.612 \log z - 2.612$	$\rho = +0.968$
後期	$\log R = -2.863 \log x - 0.329 \log y + 1.194 \log z - 2.965$	$\rho = +0.982$
南谷前期	$\log R = 4.214 \log x + 0.689 \log y + 0.174 \log z - 5.150$	$\rho = +0.999$
伐採中	$\log R = 2.389 \log x + 0.877 \log y + 1.322 \log z - 3.818$	$\rho = +0.978$
後期	$\log R = -1.804 \log x + 1.374 \log y + 1.380 \log z - 3.267$	$\rho = +0.999$
下刈り期	$\log R = 2.363 \log x - 0.706 \log y + 1.470 \log z - 2.525$	$\rho = +0.954$

上記の重相関係数の最も小さい南谷下刈り期において、上式から算出した最大流量の相対誤差率の平均は 9.7%, 最大は 24.7% で、かなりの適合を示すことがわかる。上式の各係数を一覽するに、両谷とも時期別に相当の差があり、それらの差が林相の差に應ずるものとは認めがたい。ことに北谷前期において a が負となるのは首肯しがたいが、この時期においても、後の第 5 表にみられるように、個々の降雨からその関係を導いた場合、その回帰は正となるもので、これら各雨量を平均することにより生じた資料の取扱以上の相違に基づくものであろう。

また上式の各標準偏回帰係数を算出すると、いずれの時期においても $\log x$ の方が $\log y$ より大きく、 R に対する相対的な比重は常に積算雨量が大きいことを示している。これに対し水位と積算雨量との間のその係数の大小は、時期によつて変動がある。

いま前期・後期の時期別の差をみるため、各別に両式の差を求めると、

$$\text{北谷 } \Delta \log R = 5.336 \log x - 2.187 \log y - 1.122 \log z - 4.058$$

$$\text{南谷 } \Delta \log R = -2.410 \log x + 0.685 \log y + 1.206 \log z + 1.883$$

北谷では x, y, z が表の平均の範囲内では常に正であり、 x が大きくなるにつれ、その傾向は顕著となると思われるが、南谷では雨量の小さい間は $\Delta \log R$ は正となりうるが x の増大するにつれ負となる（このような傾向については先に第4回報告においても述べた）。また南谷の下刈り期と後期との差をとると、

$$\Delta \log R = 0.559 \log x - 2.080 \log y + 0.090 \log z + 0.742$$

その正負は y の値により大きく支配されるが、いずれにしろその差は小さく下刈りによる影響はまず

第5表 各係数・常数項一覧表
Table 5. Coefficients and constants in the equations

	水位 Gage height	資料数 No. of sample	$\gamma_{z,x}$	$\gamma_{z,xy}$	a	b	c
北 谷 Kitadani							
前期 Before cutting	2~3cm	14	+0.812	+0.847	1.292	0.833	-1.994
	3~4 "	15	+0.862	+0.949	1.148	1.046	-1.642
	4~5 "	22	+0.846	+0.879	1.123	0.693	-1.264
	5~6 "	11	+0.845	+0.856	1.433	0.324	-1.107
	6~7 "	9	+0.746*	+0.768*	1.724	0.277	-1.299
伐採中 During cutting	3~4 "	18	+0.907	+0.909	1.780	0.118	-1.756
	4~5 "	18	+0.828	+0.893	1.328	0.646	-1.360
	5~6 "	14	+0.804	+0.868	1.266	0.740	-1.334
	6~7 "	12	+0.975	+0.978	1.652	0.272	-1.360
	7~9 "	11	+0.888	+0.897	1.611	-0.040	-0.788
後期 After cutting	3~4 "	8	+0.964	+0.966	1.752	0.131	-1.596
	4~5 "	22	+0.843	+0.870	1.331	0.542	-1.284
	5~6 "	23	+0.833	+0.867	1.522	0.624	-1.356
	6~7 "	23	+0.932	+0.938	1.792	0.260	-1.339
	7~8 "	19	+0.955	+0.965	1.789	0.502	-1.401
	8~9 "	8	+0.977	+0.993	1.760	0.486	-1.298
	9~12 "	19	+0.906	+0.912	1.887	0.237	-1.094
南 谷 Minamidani							
前期 Before cutting	2~3 "	14	+0.942	+0.063	1.108	1.382	-2.031
	3~4 "	18	+0.880	+0.903	1.052	0.463	-1.171
	4~5 "	17	+0.780	+0.780	1.383	0.069	-1.205
	5~6 "	15	+0.906	+0.941	1.411	1.351	-1.997
	6~7 "	15	+0.971	+0.973	2.700	-0.042	-2.301
伐採中 During cutting	2~4 "	11	+0.926	+0.935	1.627	0.259	-1.896
	4~5 "	11	+0.831	+0.858	2.232	-0.459	-1.956
	5~6 "	20	+0.878	+0.898	1.448	0.501	-1.462
	6~7 "	12	+0.664*	+0.670*	1.524	0.306	-1.364
	7~8 "	18	+0.910	+0.919	1.699	0.380	-1.323
後期 After cutting	4~5 "	14	+0.971	+0.979	1.446	0.094	-1.457
	5~6 "	41	+0.923	+0.923	1.789	0.046	-1.546
	6~7 "	24	+0.959	+0.959	1.638	0.127	-1.216
	7~8 "	27	+0.868	+0.888	1.723	0.398	-1.590
	8~9 "	14	+0.961	+0.968	1.829	0.296	-1.339
	9~ "	25	+0.903	+0.911	1.622	0.325	-0.950
下刈り期 During weeding	4~5 "	16	+0.965	+0.969	2.144	-0.097	-2.010
	5~6 "	16	+0.933	+0.933	1.720	0.036	-1.301
	6~7 "	13	+0.959	+0.959	1.821	-0.091	-1.254
	7~9 "	14	+0.915	+0.918	1.594	0.169	-1.106
	9~12 "	5	+0.905	+0.954	1.432	0.405	-0.806

$\gamma_{z,x}$: $\log z$ と $\log x$ との間の単相関係数

$\gamma_{z,xy}$: $\log z$ と $\log x, \log y$ との間の重相関係数

a, b, c : 係数および常数

相関係数に * を付したもの（やや有意）以外は非常に有意なることを示す。

軽微と考えてよいであろう。

さらに積算雨量、最大時雨量の影響を細かく検討する目的で第 4 表の原資料について、水位階級別に $\log R = a \log x + b \log y + c$ (R = 最大流量, x = 積算雨量, y = 最大時雨量) の関係式を導き、その重相関係数や a , b , c の値をまとめたのが第 5 表である。この場合でも $\log R$ と $\log x$, $\log y$ との間の重相関係数がきわめて有意であり、また $\log R$ と $\log x$ との単相関係数もそれに近い値を示しており、したがって最大流量を積算雨量のみの函数としてもかなり適合度の高いものが得られるはずである。1 時間最大雨量の影響は、本資料においては雨量強度が概して小さいためか一般に弱いとみられる。

積算雨量の係数 a や常数項 c が水位の上昇に応じ増大するという整然たる傾向が理論的に予期され、実際にも c はそれに近い変化をすることが認められるが a の値の変化は前期においてのみそのような関係がみられたが、他の時期では一定の傾向を見いだしがたい。 a は b とともに多少関連があるように思えるので北谷の資料について a と b の相関係数を求めると前期 $= -0.319$, 伐採中 $= -0.872^*$, 後期 $= -0.667$ で、いずれも負でこの両者はたがいに逆の変化をする傾向があるもので、 a が規則的な変化をしないのはこの b の値の変動が大きいためであろう。 a の水位別の値を時期別に比較すると北谷では、前期と伐採中および前期と後期の間に有意差があり、南谷でも、前期が伐採中、後期、下刈り期に比べ概して小さく、積算雨量の最大流量におよぼす影響は植生の疎開するにつれ大きくなることを示すものと解される。

b の値は前述のように全体を通じて比較的小さいが、これは本地方の雨量強度は概して小さいためで、第 4 表と対照すればわかるように雨量強度のとくに大きい場合は b の値も大きく、その比重は急激に増加するが積算雨量のそれに比べればなお小さい。いま積算雨量およびその強度のほぼ等しい水位階級の資料（たとえば北谷で水位 4~5 cm, 南谷では 5~6 cm）をとり、前回と同様に $\Delta \log R$ をとつて時期別の比較を行なうと、北谷では常に前期が伐採中、後期より小さいが、南谷では北谷ほど明りような傾向を見いだすことができない。また後期と下刈り期の間にもほとんど差がないと見られる。伐採下刈りにより、水位が 0.5~2 cm 上昇することを考えても南谷においてはその差は小さいようである。

また南北両谷の比較では、 a の値は各期を通じほぼ等しく、したがって同じ水位に対する単位最大流量は、全般的にはやや北谷に大きく、後期においてとくにその傾向がある。前期に豊水量平水量ともに北谷よりやや大きい南谷が、最大流量では、逆に、やや小さい傾向のあるのは、地況林況が流量調節上有利な条件にあることを示すものである。

要するに、植生の伐採によつて、最大流量増大の傾向は流域によつて異なるものであり、その差は植生の遮断雨量の差によるものでないことは、前期・後期の両谷の植生密度が全体的に大差がないにかかわらず、北谷に特に顕著に現われることによつてもうかがわれ、植生そのものより、地形土壌条件の影響の大きなことを示すもので、この場合とくに北谷の石英斑岩系に近い北側斜面が、皆伐のため土壌が悪化したのが主因かと考えられるものの、これを裏付ける土壌調査資料が十分でない。

また、最大流量に影響する因子としては、本資料では積算雨量の比重は最大時雨量よりかなり大きい、一方増水前の水位の影響も、前者に比して劣らない力をもつものと思われ、したがって時期別平常水位の変化は、その増水量、最大流量の変化に対し、軽視できない比重をもつものといえる。

C. 保留量と最大流量

前記のように最大流量はピークまでの積算雨量と密接な関係があり、雨の強さによる影響はわりあい小さい。そこで Zock⁴⁾ のように流量をその流域の保留量の函数と考える方がより合理的とも考えら

れるので、それによつて時期別の比較を行なうこととした。もつとも小面積の本流域ではピークまでの流量は積算雨量の5%に満たない場合が普通で、したがつて実質的には積算雨量の函数とみた場合に比して大した差はないであろう。

保留量算定の水位の基準として 4.0~5.9 cm をとり、増水開始水位がこの範囲にあるもののみを対象とし、ピークの形の複雑なものをさらに省いた。資料の集計平均したものが第6表である。なお今回は伐採直後の期間として 22~24 年の資料をもあわせ検討した。両者の関係式としてはそれぞれの対数相関の方がより高いので、前と同様対数式を採用した。すなわち、

$$\log y = a \log x + b$$

$$y = \text{最大流量 } l/s, x = \text{保留量 } mm$$

として $\log x$ と $\log y$ の平方和、積和を算出し、回帰係数、相関係数や推定誤差を求めると第7表となる。

第6表 最大流量と保留量
Table 6. Peak discharge and basin restorage

時 期 Period	資 料 数 No. of sample	最大流量 Peak discharge l/s		保留雨量 Basin restorage mm		
		範 囲 Range	平 均 Mean	範 囲 Range	平 均 Mean	
前 期 Before cutting	{北 N	23	0.67~124.89	13.74	4.5~ 52.9	17.1
	{南 S	20	1.80~115.43	24.25	7.6~100.4	29.31
伐 採 中 During cutting	{北 N	32	0.62~ 82.38	10.41	6.3~ 40.6	17.2
	{南 S	29	0.89~ 39.83	7.43	6.3~ 44.5	17.9
伐採直後 Immediately after c.	{北 N	47	0.82~854.48	49.33	3.5~ 59.4	19.9
	{南 S	40	0.56~419.0	19.07	5.8~ 57.4	16.3
後 期 After cutting	{北 N	75	0.66~263.39	21.83	4.3~ 52.5	18.9
	{南 S	40	0.62~180.79	13.16	4.7~ 67.8	20.2

第7表 保留量と最大流量の回帰・相関の資料
Table 7. Regression and correlation between basin restorage and peak discharge

時 期 Period	自由度 Degrees of freedom	平方和・積和 Sum of squares and sum of products			相関係数 Correlation coefficient	回帰係数 Regression coefficient	常数項 Constant	推定誤差 Error	
		Sx²	Sxy	Sy²				平方和 Sum of squares	df
南 谷 Minamidani									
12〜15年	19	1.565	3.055	7.232	0.908	1.951	-1.758	1.269	18
19〜21	29	1.576	2.990	7.899	0.848	1.938	-1.739	2.226	28
22〜24	42	2.920	6.746	18.803	0.910	2.311	-2.014	3.218	41
25〜28	39	3.336	5.592	11.911	0.887	1.676	-1.368	2.538	38
計 Total	129	9.397	18.383	45.845	0.888	1.969	1.720	9.251	125
北 谷 Kitadani									
12〜15	22	1.669	3.323	8.825	0.865	1.991	-1.700	2.209	21
19〜21	31	1.486	3.237	8.860	0.911	1.858	-1.858	1.809	30
22〜24	46	4.812	10.529	28.330	0.901	2.188	-1.714	5.292	45
25〜28	74	6.099	13.305	33.054	0.937	2.182	-1.815	4.030	73
計 Total	173	13.976	30.394	79.069	0.904	2.049	-1.772	13.340	169

$$Sx^2 = \sum (\log x)^2 - \frac{(\sum \log x)^2}{n} \quad Sxy = \sum \log x \log y - \frac{\sum \log x \times \sum \log y}{n}$$

$$Sy^2 = \sum (\log y)^2 - \frac{(\sum \log y)^2}{n} \quad \text{推定誤差平方和} = Sy^2 - \frac{(Sxy)^2}{Sx^2}$$

この場合最大流量の保留量に対する変化割合 $\frac{dy}{dx} = 10^6 ax^{a-1}$ で、その大きさは a, b の双方に関係するが、 a の方が多少有力と見られるので、まず a について時期別に差があるかを検討した。ことに北谷では b の値の時期別の差が小さいので、 a の差の $\frac{dy}{dx}$ におよぼす影響が大きいと考えられるが、第 7 表の値から時期別に回帰の差があるかの検定を行なうと、

変 動 因	自 由 度	推 定 誤 差	
		平 方 和	平均平方
時期内平均回帰からの偏差	172	13.371 [△]	
個々の時期ごとの回帰からの偏差	169	13.340	0.079
時期ごとの回帰間の差	3	0.031	0.010

△は第 7 表の最下欄の値から $Sy^2 - \frac{(Sxy)^2}{Sx^2}$ で算出する。

となつて時期ごとの回帰間の差の平均平方が、時期ごとの回帰からの偏差の平均平方（実験誤差）に比べて小さく、したがつて回帰間に有意の差が認められない。すなわち保留量の増加に対する最大流量の増加割合は各期を通じて大差ないが、最大流量そのものは伐採後の両期が常に多少前期より大きいであろうことが式の比較によつて推測される。一方南谷について同様な検定を行なうと、 $F=2.85 > F_{0.05}=2.67$ となつて、時期別の回帰の差は有意となる。南谷の伐採直後 22～24 年の a が格別に大きいのが、当時同流域で松根 2 万貫を掘り取つたという記録があり、それによる林地の一時的攪乱が主因をなすのでなかろうか。また 25～28 年の a のとくに小さいのも林地のメダケ、ササ類による急速な回復によるものと解すべきであろう。

次に南北両谷を比較すると、第 7 表の最下欄の回帰係数は各時期の回帰のほぼ平均を表わすものとみられるが、その値は南谷が北谷よりかなり小さい値を示している。これをさらに前後期に分けてその差を検定すると、まず前期での両谷の平均推定誤差は、

$$\text{第 7 表から } (8.825 + 7.232) - \frac{(3.323 + 3.055)^2}{1.669 + 1.565} = 3.479$$

同じく各谷の回帰直線からの偏差の和は、

$$2.209 + 1.269 = 3.478$$

で、2 つの回帰の差、

$$3.479 - 3.478 = 0.001$$

は実験誤差より小さく、有意差がみられなかつた。

同様な方法で後期の両谷の差を検討すると、回帰係数の間にいちじるしい差をみとめることができた。すなわち北谷の伐採後の理水機能の低下の傾向は南谷との比較により確かめ得た。いまこの傾向を前後期の 1 出水例について検討すると、

	初水位	雨 量	最高水位	増水量	減少 2 時間 後の保留量	同流量
	cm	mm	cm	mm	mm	l/s
昭和 13・7・3～5	5.0	108.2	66.1	70.1	48.9	63
昭和 28・7・18～19	5.6	109.1	68.7	81.4	47.5	127

上記2例は初水位、雨量ともほぼ等しく、また最大流量の差も小さいが、増水量の差はかなり大きい。とくに注目されるのは、前期は後期より減水勾配が急なため、同じ保留量に対する流量は顕著に後期より少ないことである。しかしその差は保留量の増大に伴い漸次減少する傾向のあるものと察知された。

D. いちじるしい出水の場合

林地の保留能力にも当然限界のあることが考えられ、したがって林相の最大流量におよぼす影響も、雨量がある限度以上の大きになると、漸次軽微になると予想されたので、ここに瞬間流量が 100 l/s 以上の大きな出水例のみを対象として時期別の比較を行なった。

資料をとるに際しては、減水途上の増水のように初水位の高いものは除いた。またこのような大きな出水時でも、北谷のピークが南谷より 0~20 分早くあらわれるが、降雨時間や降雨量が大きいので、積算雨量の算出には、上の時間差を無視して、両谷とも北谷のピーク時を規準にとつた。第8表の各期の増水前の水位および雨量条件の平均をみると、それぞれ時期別に多少の差がある。ことに増水前の水位が伐採

第8表 100 l/s 以上の出水
Table 8. Peak discharge above 100 l/s

	年 Year	月日 Date	積算雨量 Total prec. to the peak	最大時雨量 Max. an hour p.	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani		北 谷 Kitadani 南 谷 Minamidani	
					最大流量 Peak dis- charge	水 位 Gage height	最大流量 Peak dis- charge	水 位 Gage height		
前 期 Before cutting (昭 12~15 年)	12	6. 8	118.0	10.8	m ³ /s	cm	m ³ /s	cm	1.32	
		9.11	131.8	23.5	1.37	3.8	1.04	4.9	1.68	
		6. 9	92.4	6.5	1.94	3.5	1.15	4.0	1.23	
		6.14	94.6	11.1	0.57	3.7	0.46	4.1	1.29	
		7. 5	102.4	9.3	2.09	7.0	1.61	8.7	1.22	
	13	9. 5	55.3	8.9	1.60	4.8	1.31	5.9	1.47	
		6.26	100.5	15.1	0.72	4.5	0.49	5.6	1.68	
		平均 Mean	99.2	12.2	0.86	2.0	0.51	1.9	1.41	
	伐採中 During cutting (昭 19~21 年)	20	7.12	95.5	7.6	1.31	4.2	0.74	5.0	1.16
			7.21	42.0	15.4	0.93	8.7	0.65	9.6	1.43
9.18			79.5	10.1	1.19	6.2	1.05	6.3	1.13	
9.27			48.8	5.7	0.67	9.6	0.47	10.9	1.42	
4.24			53.4	11.2	0.87	7.3	0.71	8.5	1.22	
21		5.22	91.7	18.5	2.31	7.6	2.03	7.1	1.13	
		7.30	118.5	29.9	1.11	5.0	0.67	6.0	1.65	
		(22) 7. 9	47.7	24.3	2.03	4.6	0.93	5.2	2.18	
		平均 Mean	72.1	15.3	1.31	6.7	0.96	7.4	1.42	
		後 期 After cutting (昭 27~28 年)	27	6.23	77.5	6.9	0.92	4.2	0.61	5.3
7.11	102.3			18.1	2.19	5.8	1.92	8.0	1.14	
7. 1	58.6			15.8	0.92	5.4	0.51	7.1	1.80	
7.30	61.2			17.4	0.89	5.9	0.46	7.2	1.93	
6. 7	139.2			17.0	3.78	8.6	2.63	10.0	1.43	
28	7.19		107.5	25.4	1.75	5.5	1.57	7.6	1.11	
	9.25		108.5	10.8	1.57	4.8	1.48	6.4	1.06	
	9. 5		69.6	12.7	2.27	5.3	0.91	6.5	2.49	
	平均 Mean		90.6	15.5	1.79	5.7	1.26	7.3	1.58	
	下刈り期 During weeding (昭 30~32 年)		30	4.17	79.6	16.6	0.79	5.0	0.55	5.7
7. 5		61.7		10.0	0.88	4.7	0.48	5.7	1.83	
31		6.12	55.4	14.0	0.87	5.9	0.63	8.4	1.38	
		9.27	82.8	18.9	0.84	3.7	0.55	5.0	1.52	
		9.27	92.5	8.1	0.74	4.0	0.50	5.1	1.48	
32		6.27	99.8	18.9	0.85	3.6	0.67	5.0	1.23	
		7.18	62.6	22.5	1.42	6.0	1.17	8.6	1.21	
		8.23	86.6	37.0	1.39	4.0	0.77	6.1	1.77	
平均 Mean		77.6	18.3	0.97	4.6	0.67	6.2	1.48		

注：関係式誘導の際計算の都合上最大流量は上表の値の 10 倍とした。(m³/s/10 ha)

中・後期に相当上昇しているのは Sampling によるものでなく、すでにたびたび述べてきたように植生変化のためと考える。最大流量の時期別平均をみると後期はとくに大きい、これは後期の雨量平均が前期に比べて逆にやや減少していることからみても、おそらく雨量の影響ではないであろう。また下刈り後に北谷のみならず南谷の最大流量のいちじるしい減少は、おもに雨量条件の差に帰すべきと思われるが、一面、下刈りによつても最大流量の増加する傾向のないことを示すものといえよう。

つぎに前節にならつて最大流量は積算雨量、最大時雨量、増水前の水位の函数と考え、それぞれの対数の重相関係数を調べると、

	前 期	伐 採 中	後 期	下刈り期
南 谷	0.922*	0.613	0.880*	0.875*
北 谷	0.922*	0.470	0.709	0.754

と前記のそれに比べて総体に小さいのは資料数の少ないことや、大きな出水時の雨量条件を上記の2変数のみで表わすことの不十分であることなどによると思われる。

全資料を通じての傾向としては、積算雨量との偏相関は前節に比べて低下し、最大時雨量の影響が相対的に増大しているが、その程度も時期別に差が大きい。とくに重相関の密接な前期のみについて回帰式を導くと、

$$\text{南 谷} \quad \log R_S = 1.188 \log x + 0.356 \log y + 0.933 \log z - 2.405$$

$$\text{北 谷} \quad \log R_N = 0.800 \log x + 0.654 \log y + 0.930 \log z - 1.757$$

で、この時期ではなお積算雨量の影響が多少大きいであろうと想像される。水位 (z) が両谷に仮りに等しいとして、両式の差を求めると、

$$\log R_N - \log R_S = -0.388 \log x + 0.298 \log y - 0.003 \log z + 0.648$$

で、積算雨量の増大するにつれ、両谷の差がますます小さくなる傾向があり、一方雨量強度の増大するにつれ、その差が逆に大きくなり、両谷の流域特性をよく示現している。おそらくこの傾向は程度の差こそあれ、各時期を通じての一般的のものであろう。もつとも積算雨量の増大につれ時間強度の増加するのが通例であり、両者互いに相殺するが、全体として両谷の差が漸次縮小するとみられる。

次に南谷の流量の時期別変化がわりあいに小さいので、これに対する北谷の流量比 $\frac{R_N}{R_S}$ を各出水について求め (第8表)、時期別に比較検討した。

各出水時の単位最大流量はつねに北谷が南谷より大きく、したがつて $\frac{R_N}{R_S}$ は1より大であるが、雨量条件や水位の差を無視して、時期別に有意差があるかを分散分析すると、

$$F = 0.62 < 2.95 = F_{0.05}$$

となつて差のないことが認められたが、第8表の時期別平均では後期、下刈り期に多少増加している。30～32年を除き各時期における両谷の植生の間に差が小さいので、流量比にも有意差のないのが当然かもしれないが、30～32年は南谷は下刈りによつて植生が一掃されたが、北谷は伐採後10年を経過し、ササ・雑木を主とする植生の回復が大きいので、両谷の植生に大差があるはずであるが、他の時期と比較してもほとんど差がみられなかつた。全資料を通じて $\frac{R_N}{R_S} = p$ と、雨量ならびに水位との相関を調べると、 p と

水位との間になら有意の相関がないので、 p を積算雨量 (x) と最大時雨量 (y) の函数と考え、それぞれの偏相関係数および重相関係数を求めると、

$$\rho_{p.x.y} = -0.515^{**}, \rho_{py.x} = +0.635^{**}, R_{p.xy} = +0.664^{**}$$

となつていずれもいちじるしく有意であるので、これらの関係式を求めると、

$$p = -0.0053x + 0.0588y + 1.011$$

と x の係数は y のそれに比べ大変小さいが、その標準偏回帰係数 $b'_{p.x.y} = -0.479$, $b'_{py.x} = +0.653$ と y の p に対する影響は x よりやや大きいことがわかる。なおそれぞれの時期別の資料についてみても、いずれも上述とほぼ同じ傾向がみられたが、前期を除き有意とならなかった。いま各期の x , y の平均値を上式に代入して、 p の平均推定値を求め、その相対誤差率を算出すると、前期 +15%, 伐採中 -7%, 後期 +8%, 下刈り期 -13% で、各期における平均回帰からの偏差を植生の変化によつて予想された傾向と結びつけることができなかった。

以上の種々の検討によつて、南北両谷の最大流量の差は 100 l/s 以上の出水の場合にも明らかであるが、積算雨量の増大につれ縮まり、雨量強度が増すにつれ、その差が大きくなる傾向、すなわち持続性の大雨では両谷の出水状況に差が小さいが、短時間の豪雨では北谷が南谷に比べ急激な出水を起こすという流域の特性が明らかにされたが、時期別にみれば、伐採後に多少両谷の差が増大するとみられるものの、有意性はなく、また下刈りによつてもさしたる変化が見られず、要するにいちじるしい出水時における植生の差の影響は重視するにあたらないであろう。

次に本試験地の出水傾向と釜淵試験地のそれとの比較を行なつた。同試験地の状況については丸山⁶⁾によつて詳細報告されているが、要約すると、

	I 号 沢	II 号 沢
年 平 均 気 温	9.6°C	
年平均降水（雪）量	2,500 mm	
面 積	3.06 ha	2.48 ha
平 均 勾 配	34°30'	35°50'
植 生	両沢はほぼ同じでスギを主とする針葉樹（蓄積 27~28 m ³ /ha）とナラ、ブナその他の広葉樹（蓄積 33~44 m ³ /ha）の混交林 伐採前(1940~1947) { 林相は同じで蓄積は約2倍に増加 伐採後(1948~) { 全林木を伐採し毎年刈払いを行なう	

で、環境・地況・植生とも、高島試験地のそれと大きな差があり、したがつて伐採下刈りの影響に多少違った結果が予期されないでもない。一方、本試験地では植生変化の流量におよぼす影響を同一時点で比較が可能である点、解析に好都合といえる。

さて伐採前、伐採後の出水資料をそれぞれ 14, 15 とり、前回と同様に最大流量比 $\frac{R_{II}}{R_I}$ を算出した

(第9表)。流域面積はいずれも高島よりはるかに小さいが、その面積比 $\frac{S_{II}}{S_I}$ は高島の $\frac{S_N}{S_S}$ とほぼ等

しい値を示す。 $\frac{R_{II}}{R_I}$ は前後期とも 1 に近い値をとるのは、両沢の水文の諸性質が互いに相似することを

示すものであるが、中には異常に大きい値を示すものが見受けられる。これは観測施設の構造不備のた

第 9 表 釜淵の出水資料
Table 9. Comparatively large peak discharge at kamabuchi

年 月 日 Date	積算雨量 Total precipitation to peak	最大時雨量 Max. an hour p.	最 大 流 量 Peak discharge		
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>m³/s/km²</i>	I	II / I %
伐採前 Before cutting					
14. 8.12	47.2	28.0	0.1870	0.2931	156.7
15. 7. 7	59.3	11.0	0.1533	0.1545	100.8
15. 7.26	65.1	11.8	0.2624	0.2406	91.7
15. 8.27	82.4	16.4	0.1928	0.1890	98.0
15. 9.12	84.8	16.5	0.2312	0.2554	110.5
16. 7. 4	71.3	14.2	0.2378	0.1719	72.3
17. 7. 6	39.8	12.4	0.1384	0.1404	101.4
18. 8.12	83.1	28.0	0.3254	0.3519	108.1
19. 7.13	43.2	12.2	0.2959	0.2494	84.3
19. 9.12	66.1	12.8	0.1394	0.1362	97.7
20. 7.18	44.0	11.0	0.1824	0.1878	103.0
20. 9. 8	100.7	12.8	0.1836	0.1803	98.2
20. 9.13	55.8	13.7	0.2709	0.2723	100.5
21. 9.10	58.0	16.3	0.1735	0.1625	93.7
22. 7.22	72.5	20.0	0.4020	0.4151	103.3
伐採後 After cutting					
23. 7. 9	37.9	11.2	0.1526	0.1523	99.8
23. 8.13	51.3	14.4	0.1463	0.1625	111.1
23. 9.16	51.7	13.8	0.1791	0.1967	109.8
23.10. 4	44.6	12.1	0.1836	0.2392	130.3
24. 8.31	67.8	31.4	0.3273	0.3742	114.3
24. 9.23	43.4	22.3	0.3238	0.3411	105.3
25. 7.12	39.9	17.1	0.4468	0.4355	97.5
25.10.15	47.6	9.0	0.1964	0.2019	102.8
27. 7.17	50.8	9.0	0.1659	0.1719	103.6
27. 8. 1	58.3	10.4	0.2260	0.2363	104.5
27. 9.11	55.2	19.2	0.2666	0.3252	122.0
28. 7.21	70.5	15.3	0.1964	0.2320	118.1
28. 8.14	108.2	33.0	0.9091	0.9352	102.9
28. 9.14	41.8	10.4	0.1074	0.1270	118.2

め、ときおり流出土砂が湛水池に流れ込み、観測値を異常に増大させるものと推定されるので、このような異常値を除くことが適当と考え、SMIRNOFF-GRUBBS の棄却検定を行なった。 $\frac{R_{II}}{R_I}$ の値が正規分布をなすという確実な根拠は別にあるが、資料にいちじるしいかたよりのない限り、そのような分布をなす想定する。

まず前期の最大値 1.57 については、

$$T = \frac{\bar{x} - x}{S} = 3.39 > T_{0.01} = 2.80$$

$\bar{x}$: $\frac{R_{II}}{R_I}$ の平均値, x : 検定の対象となる $\frac{R_{II}}{R_I}$ の値, S : $\frac{R_{II}}{R_I}$ の標準偏差

となつて棄却することが適当であると判定されたが、最小値 0.72 については、 $T = 1.80 < T_{0.10} = 2.326$ となつて棄却が妥当でないと検定された。また後期資料のうち異常に近いとみられるものについても、同様な検定を行なったが、棄却を要するものがなかつた。これら前後期のそれぞれ 14 例について等分散の検定の後、Student test を行なった。

$$t = 2.91 > t_{0.05} = 2.056$$

で、母平均の等しいという仮定は捨てられる。すなわち前後期の最大流量比の平均に差があり、後期がより大であることが認められ、高島の植生別に有意の差のないのと対照的である。もつとも高島では下刈り期を除いては、各時期の両谷の林相に差がないという条件のちがひもあろう。両期の雨量についてみれば、前期平均 65.9 mm、後期平均 54.7 mm と、前期にやや大きい傾向があるが、 $\frac{R_{II}}{R_I}$ と雨量との間になんら相関がみられないので、流量比が後期に大きくなったのはII号沢の最大流量が伐採により増加したためと解するのが妥当のようである。しかし上記資料における雨量ならびに最大流量はともに、高島の前記出水資料に比べて相当小さく（さらに大きな出水では、前述の理由で記録の信頼性が低下する懸念がある由なので、なるべく避けた）、その影響とも考えられるが、丸山⁹⁾ がとくにいちじるしい出水についても、前記とほぼ同じく、わずかながら伐採後に増大することを報告しており、釜淵では雨量の多少にかかわらずそのような傾向が肯定される。高島の下刈り期のような両流域の植生の差の顕著な場合にも、それほど明りように現われないのは、面積の大きいこと、傾斜の緩やかなこと等、地況における流量調節上の好条件が植生の影響の比重を小さくするためかと解される。また釜淵の高島と相違する点は、流量比と積算雨量との相関は前後期ともみられず、高島のように積算雨量が大きくなるにつれ両沢の差が小さくなるという傾向はみとめられない。一方最大時雨量との偏相関係数は前期 +0.640*、後期 +0.016 と前期のみ有意の相関がみられ、雨量強度の増大につれ両谷の差が大きくなるという高島と同様の傾向がある。また増水前の水位とは前期 -0.605*、後期 -0.415 といずれも負の相関がみられた。なお最大流量そのものと積算雨量や最大時雨量との関係をII号沢の資料について検討すると、

最大時雨量の最大流量におよぼす影響は、積算雨量のそれより大きく、その関係は高島より明りようのようである。このような傾向は流域面積の小さくなるほど顕著になると予想されうが、武田⁷⁾ が宝川の大きな出水例について、積算雨量より最大時雨量の影響が大きいと述べており、単に面積のみでは説明しがたく、地形その他の地文的条件とも関連のあるものと想像される。

以上を要するに釜淵の場合では、大きな出水時でも、最大流量の伐採による増加は一応みとめられたが、このように出水時における植生の影響はその流域の地形因子によつて多少異なるものの、一般的にみて地況因子のそれに比べ微力なものでないかと推定される。

E. 最大流量と地表流下量, lag 等について

一般に強雨時のピーク流量は主として地表流下量と中間流量によつて構成されるが、地表流下試験²⁾ にみられるように、林地の地表流下の絶対量はきわめて少なく、強雨時でも雨量の1~10%程度にすぎないが、その瞬間単位流下量は谷の同流量を凌駕する場合もあつて、その存在は軽視できない。その量を植生別にみると、アカマツ老齢林、幼壮齢林、ササ雑木地の順に小さくなつており、アカマツ林にやや多いという傾向は否定できないようである。その傾向から考えると、谷の最大流量もササ雑木地の後期に減少する可能性も想像できる。

しかし少なくとも北谷の資料については、そのような傾向がみられず、明らかに後期に増加しているが、南谷では判然とした差がみられない。これは伐採により、北谷の一部流域の土壌、林相が悪化し、そ

		最大流量との対数偏相関係数	
		積算雨量	最大時雨量
前	期	+0.033	+0.624*
後	期	+0.394	+0.642*

の部分の地表流下の増加することが主因と思われるが、その減水曲線が前期より後期がつねに緩やかであることから考えて、林地表層の理学的な変化のため、中間流量の占める割合が増加するためとも推定される。これに対し南谷では地況林況とも概して北谷より良好なため、伐採による中間流量の増加は考えられるが、地表流下は増加しないので、最大流量に顕著な変化を示さないのであろう。従来森林の伐採によって地表流下が増加すると一般に説かれてきたが、地形的地質的条件がとくに劣悪でない限り、地表流下にさしたる変化が起こらないとみてよいであろう。下刈りの流下量におよぼす影響については、前節に述べたように、下刈りの方法その他で多少相違があるが、平均してわずかに増加の傾向は認めてよいものの、治水上問題とする程度ではない。

また伐採によつて雨量の集中時から流量の集中時までの時間、すなわち lag が小さくなると一般に予想される場所であるが、この lag は雨量の時間的配布条件によつていちじるしく変化し、雨量強度のとくに強く、地表流下の多い時は 15~20 分、持続性の弱雨の場合、ピークはおもに中間流量によつて構成されるため 3~4 時間に達する例もあり、その時期別の差についての厳密な比較は困難であるが、とくに雨の強い数例についてみれば、前後期とも 15~30 分で明らかな差を認めたい。一方南北両谷間のピーク時のズレを時期別に検討するに、一般に lag は河道延長、量水所から最遠隔地点までの距離、平均勾配⁹⁾等の函数とみられるが、このうち前 2 者は両谷にはば等しいので、ここでは平均勾配の大小によつて変化すると考えてよい。実際にも平均勾配のやや急な北谷が南谷よりピークが概して早く現われるが、持続性の小雨では逆に南谷に早い場合もしばしば見受けられる。そこで降雨型の最も簡単なシュウ雨性降雨数例を時期別にとり、両谷のピーク時のズレの比較を行なつたが、各期とも 10 分前後であり、とくに両谷間の植生に差のある下刈り期と、両谷の植生のほぼ等しい前期との間にも差があるとは認められなかつた。

下刈りによつて地表流下にいちじるしい変化があれば当然 lag にも変化を生ずるはずであるが、実際にはほとんど変化のないのは、流出機構に本質的な相違のないことを示すものであろう。

しかし本流域の集水面積が小さく、山腹斜面より河道への距離も 200 m 未満で、その流下に要する時間の小さいことや、これに対し資料の時間的精度が比較的小さいこと (5~10 分の観測誤差もありうる) や、下刈りが地況条件のよい南谷で行なわれたこと (もし逆に北谷で下刈りが実施されていれば lag 差に変化の生ずることも考えられる) 等の点を考慮すれば、本試験地の上述の傾向に基づいて、一般的に伐採下刈りによつても lag は変化しないと断断することになお躊躇を覚える。

F. 出水の頻度解析

一般に出水の頻度解析の方法に 2 とおりある。すなわち相当の長期間の記録のある場合には、その期間内の毎年の最大流量を対象とし、これの起こりうる確率について検討する方法 (annual flood analysis) と、これに対しある一定の基準量を超過する流量を与えられた期間内にすべて拾い、それぞれの流量の起こりうる確率について解析する方法 (partial duration analysis) とである。これら出水資料に確率法則を適用するには資料数の多いほど満足な結果がえられることはもちろんであるが、経験上少なくとも 50 程度は必要といわれている⁹⁾。したがつて本試験地のように各林相別の観測期間が短い場合には、年最大流量について、その生起頻度の解析を加えるにはかなりの無理があるので、ここでは主として後者の方法、すなわち超過流量について頻度解析を行ない、終わりに年最大流量に対しても簡単な検討を加えることとした。なお超過流量を対象とする場合でも、各期の観測年数が少ないため、それら各期の間の雨量条件の差が出水頻度におよぼす影響が考えられるが、各期間の平均年雨量は第 11 表のように後期に多少大

第 10 表 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以上の最大流量
 Table 10. Peak discharge above $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$

順位 Order	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani		順位 Order	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani	
	最大流量 Peak discharge m ³ /s	雨 量 Precipitation mm	最大流量 Peak discharge m ³ /s	雨 量 Precipitation mm		最大流量 Peak discharge m ³ /s	雨 量 Precipitation mm	最大流量 Peak discharge m ³ /s	雨 量 Precipitation mm
(昭和 12~18 年) (Before cutting)									
1	3.367	99.5	3.009	110.9	23	0.364	52.0	0.265	37.3
2	3.274	113.4	2.667	99.5	24	0.349	37.3	0.259	31.8
3	3.155	110.9	2.601	113.4	25	0.339	37.3	0.257	45.2
4	2.267	124.4	1.610	99.9	26	0.337	51.0	0.247	51.0
5	2.093	99.9	1.308	113.0	27	0.289	42.8	0.247	52.0
6	1.941	110.9	1.303	109.3	28	0.285	45.2	0.231	42.1
7	1.834	109.3	1.152	110.9	29	0.277	58.7	0.210	37.3
8	1.602	113.0	1.125	124.4	30	0.274	58.9	0.199	37.3
9	1.388	58.1	1.039	136.4					
10	1.372	136.4	0.946	72.6	31	0.270	37.3	0.189	58.7
					32	0.258	18.7	0.186	38.5
11	1.162	79.9	0.869	58.1	33	0.244	38.5	0.165	37.0
12	1.108	72.6	0.858	79.9	34	0.223	19.1	0.163	30.0
13	0.899	54.4	0.668	54.4	35	0.218	42.1	0.155	62.1
14	0.866	105.1	0.519	60.3	36	0.212	37.0	0.137	46.3
15	0.723	57.5	0.510	105.1	37	0.207	62.1	0.131	53.5
16	0.686	60.3	0.489	57.5	38	0.170	36.4	0.130	36.4
17	0.650	55.3	0.432	55.3	39	0.162	26.1	0.125	19.1
18	0.534	67.6	0.338	75.6	40	0.153	46.3	0.111	26.1
19	0.510	61.3	0.330	61.3					
20	0.446	75.6	0.299	42.8	41	0.132	41.9	0.110	58.9
					42	0.128	53.5	0.108	26.6
21	0.399	52.5	0.297	67.6	43	0.114	26.6	0.108	41.9
22	0.384	31.8	0.282	52.5					
(昭和 23~28 年) (After cutting)									
1	4.934	104.8	2.630	133.5	31	0.351	66.9	0.221	64.2
2	3.776	133.5	2.235	104.8	32	0.328	38.1	0.213	47.4
3	2.951	71.4	1.919	102.3	33	0.323	29.9	0.208	41.1
4	2.520	110.1	1.865	110.1	34	0.318	37.1	0.161	29.9
5	2.274	69.6	1.854	71.4	35	0.300	47.0	0.157	48.0
6	2.186	115.7	1.830	115.7	36	0.240	37.4	0.153	47.0
7	2.186	102.3	1.665	104.6	37	0.238	37.2	0.145	39.5
8	2.002	104.6	1.567	107.5	38	0.234	31.3	0.145	24.6
9	1.783	79.6	1.483	79.6	39	0.234	33.2	0.142	45.6
10	1.751	107.5	1.197	73.0	40	0.212	48.0	0.129	37.4
11	1.531	73.0	0.907	69.6	41	0.212	34.5	0.124	37.2
12	1.259	99.5	0.858	65.8	42	0.205	29.5	0.123	47.8
13	1.070	65.8	0.854	99.5	43	0.202	24.6	0.117	29.5
14	1.070	54.1	0.707	54.7	44	0.202	45.6	0.116	31.3
15	0.973	58.8	0.614	79.9	45	0.172	46.4	0.107	25.3
16	0.925	46.5	0.550	60.4	46	0.164	50.5	0.103	33.2
17	0.916	79.9	0.544	56.5	47	0.164	46.2	0.101	34.5
18	0.886	61.3	0.519	46.5	48	0.159	39.5		
19	0.878	59.7	0.519	59.7	49	0.150	22.1		
20	0.853	54.7	0.473	54.1	50	0.150	47.8		
21	0.816	56.5	0.465	58.8	51	0.133	25.3		
22	0.792	35.5	0.458	61.3	52	0.118	46.3		
23	0.727	60.4	0.355	35.5	53	0.114	26.5		
24	0.563	41.5	0.293	23.5	54	0.113	20.3		
25	0.509	41.4	0.272	41.5	55	0.110	51.1		
26	0.462	64.2	0.261	32.4					
27	0.454	23.5	0.257	41.4					
28	0.415	41.1	0.245	66.9					
29	0.397	47.4	0.241	37.1					
30	0.379	32.4	0.238	38.1					

注：南北両谷の同順位の起日は必ずしも一致しない。

第 10 表 (つづき)

順位 Order	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani		順位 Order	北 谷 Kitadani		南 谷 Minamidani	
	最大流量 Peak discharge m^3/s	雨 量 Precipi- tation mm	最大流量 Peak discharge m^3/s	雨 量 Precipi- tation mm		最大流量 Peak discharge m^3/s	雨 量 Precipi- tation mm	最大流量 Peak discharge m^3/s	雨 量 Precipi- tation mm
(昭和 29~32 年) (During weeding)									
1	3.301	141.5	3.060	141.5	21	0.381	60.1	0.228	25.1
2	3.030	93.7	2.689	93.7	22	0.802	33.5	0.219	51.6
3	1.421	58.0	1.169	58.0	23	0.281	66.7	0.205	53.4
4	1.366	88.6	0.771	88.6	24	0.252	30.9	0.186	30.9
5	1.244	50.0	0.693	80.0	25	0.238	18.1	0.169	33.5
6	0.878	61.7	0.633	58.4	26	0.238	53.4	0.158	34.4
7	0.865	58.4	0.617	89.0	27	0.210	31.1	0.141	18.1
8	0.849	80.0	0.511	50.0	28	0.155	27.7	0.114	31.1
9	0.845	44.8	0.501	93.3	29	0.136	31.7		
10	0.792	89.0	0.476	61.7	30	0.136	29.4		
11	0.792	73.5	0.440	44.8	31	0.129	36.3		
12	0.738	93.3	0.389	54.2	32	0.123	31.5		
13	0.661	41.0	0.376	73.5	33	0.119	28.8		
14	0.563	54.2	0.319	41.0	34	0.114	48.3		
15	0.547	48.4	0.309	57.6	35	0.108	47.8		
16	0.509	48.1	0.303	60.1					
17	0.498	49.4	0.298	41.4					
18	0.407	51.6	0.285	48.1					
19	0.405	25.1	0.284	48.4					
20	0.389	57.6	0.261	66.7					

第 11 表 第 10 表の資料の統計量一覧表

Table 11. Statistic table from table 10

		南 谷 Minamidani			北 谷 Kitadani		
		前 期 Before c.	後 期 After c.	下刈期 Weeding	前 期 Before c.	後 期 After c.	下刈期 Weeding
資 料 数	No. of record	43	47	28	43	55	35
流 量 Peak discharge $m^3/s/km^2$	平 均 Mean	0.614	0.659	0.564	0.829	0.862	0.663
	最 大 Maximum	3.009	2.630	3.060	3.367	4.934	3.301
	標 準 偏 差 Standard deviation	0.706	0.661	0.694	0.881	0.995	0.724
	$\hat{C}_s$ adjusted skew coefficient	2.27	1.52	3.36	1.87	2.17	2.87
雨 量 Precipi- tation mm	平 均 Mean	62.9	58.5	58.2			
	標 準 偏 差 standard deviation	30.8	27.8	26.3			
	$\hat{C}_s$ skew coefficient	0.763	0.879	1.134			

年雨量平均 (mm) Mean of Annual precipitation.

前期 Before; 1243, 後期 After; 1330, 下刈期 Weeding; 1218.

きいが大差なく、また各出水時の雨量を南谷の資料について調べると、平均標準偏差歪度とも前後期の間にとくに差があるとは見られがたい (第 11 表)。下刈り期の歪度のみ両期のそれに比しやや大きいのは資料の少ないためとみられるが、まず各期の雨量条件の間に後述の結論に大きく影響するほどのいちじるしい差はないものと推定する。

検討の対象とする流量については、このような小流域では瞬間流量より日流量がやや望ましいと思われるが、後者についても連続降雨日等に問題があり、他面計算の便宜も考えてピーク時の瞬間流量を採ること

とした。なお超過流量の基準として $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ を選んだが、この値は出水資料としては多少低きに失するが、これ以上大となれば資料の数が急に減少するので、この程度にとどめた。また資料抽出に際しては前日の降雨による影響が大きかったり、降雨型が複雑で短い期間に増水減水がたびたび繰り返されるような場合は避けるよう注意した。

比較期間は伐採前は昭和12～18年のうち、とくに

雨量の少なかった同14年を除き6カ年とし、伐採後も昭和22～28年のうち同様な理由で22年を省き、前期同様6カ年とした。下刈り期としては昭和29～32年の4カ年の記録をとつた（第10表）。

一般に以上のような超過流量の度数分布は年最大流量の場合ほど一定の確率法則¹⁰⁾に当てはまらないが、指数関数が比較的よく適合するといわれている。本資料がこの函数に当てはまるかどうかを見るため、半対数方眼紙の対数目盛に生起確率（後述の法による）をとり、普通目盛に最大流量をとり、北谷前・後期の資料をプロットすれば第6図のようになかなり点のバラツキが大きく直線状分布をなすとはいいがたい。とくに資料の少ない下刈り期は点の分布は不規則で、いずれも本資料に指数関数の適用は無理かと思われる。次に年最大流量の度数分布によく適用され、また超過流量の系列にもしばしば利用される対数正規確率函数およびピアソン系分布函数について考えてみよう。

出水頻度解析に用いられる SLADE の函数¹³⁾とは出水の起こる確率を自然対数 e を底とする指数函数とみ、その指数を流量の対数函数で表わした式、すなわち、

$$p = a e^{-c^2 \{\log d(x+b)\}^2}$$

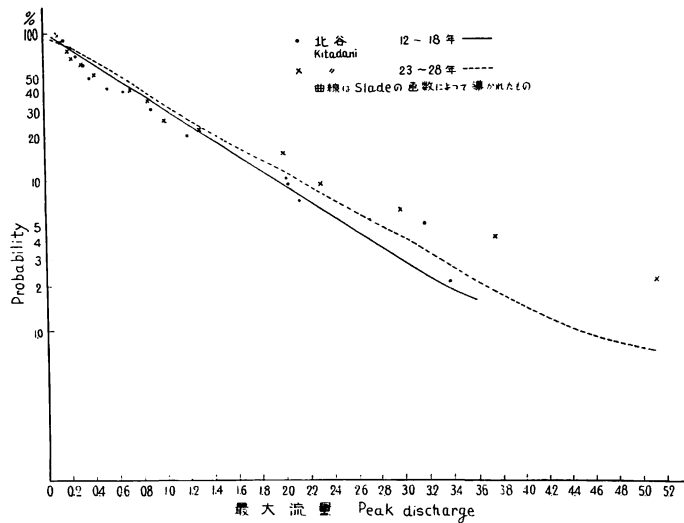
からその累積確率を、

$$\frac{N}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^c \log \frac{d(x+b)}{t^2+1} e^{-z^2} dz$$

b, c, d, t はその系列の乗積能率で決まる常数

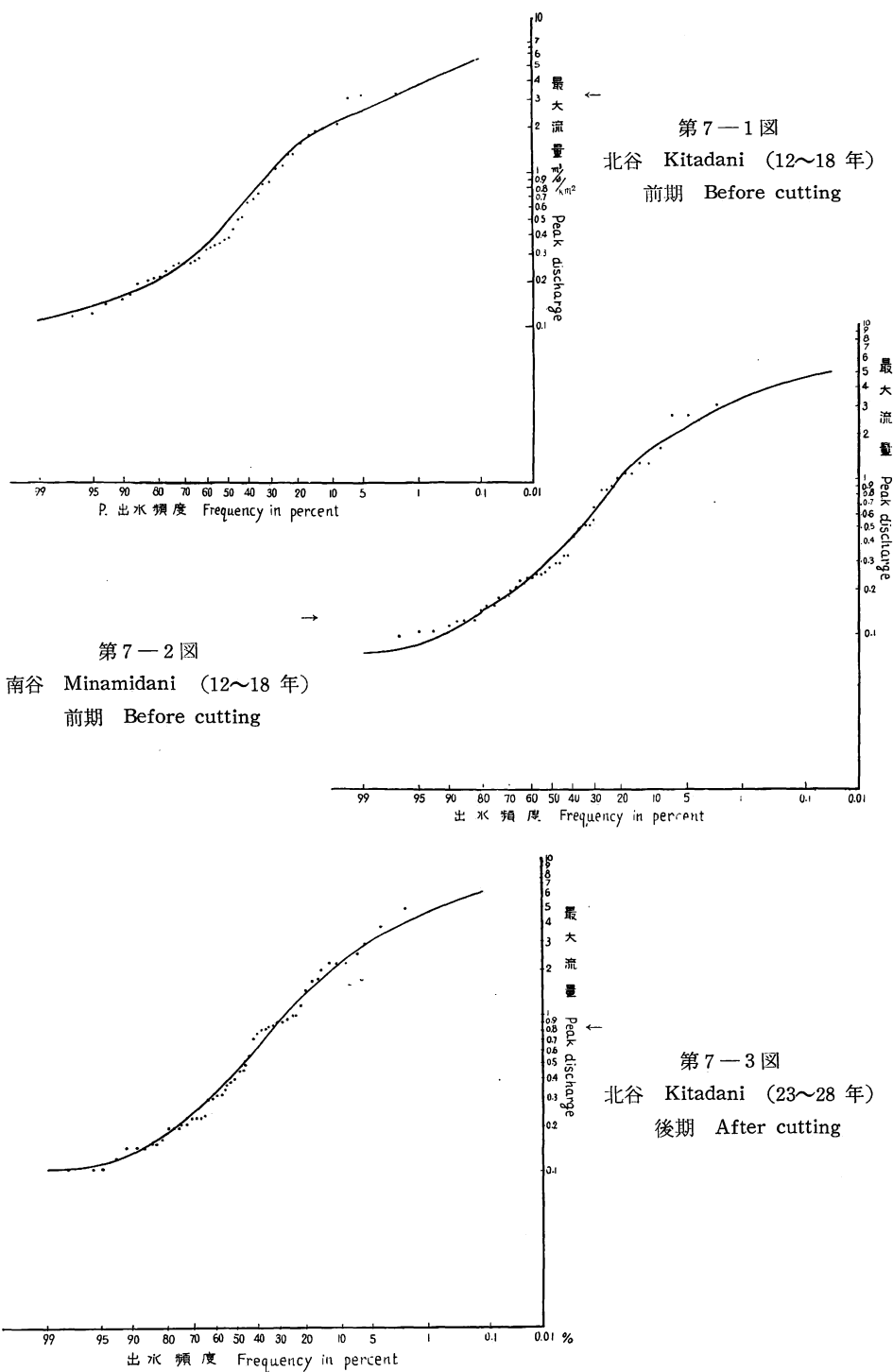
で算出し、流量とその算出確率を半対数方眼紙にプロットすると第6図のとおりで、前後期の両期とも流量の小さい部分においてその曲線がかなり食いちがうことが認められる。

さらに北谷前後期の資料を対数正規確率紙にプロットすると（第7図）、ほぼ連続したゆるやかなS字状曲線となるので後述の方法でピアソン系の度数分布函数の適用を試みたところ、比較的よく適合すると判断されるし、その計算手数も FOSTER の表を用いれば SLADE の函数によるよりはるかに簡単なので、

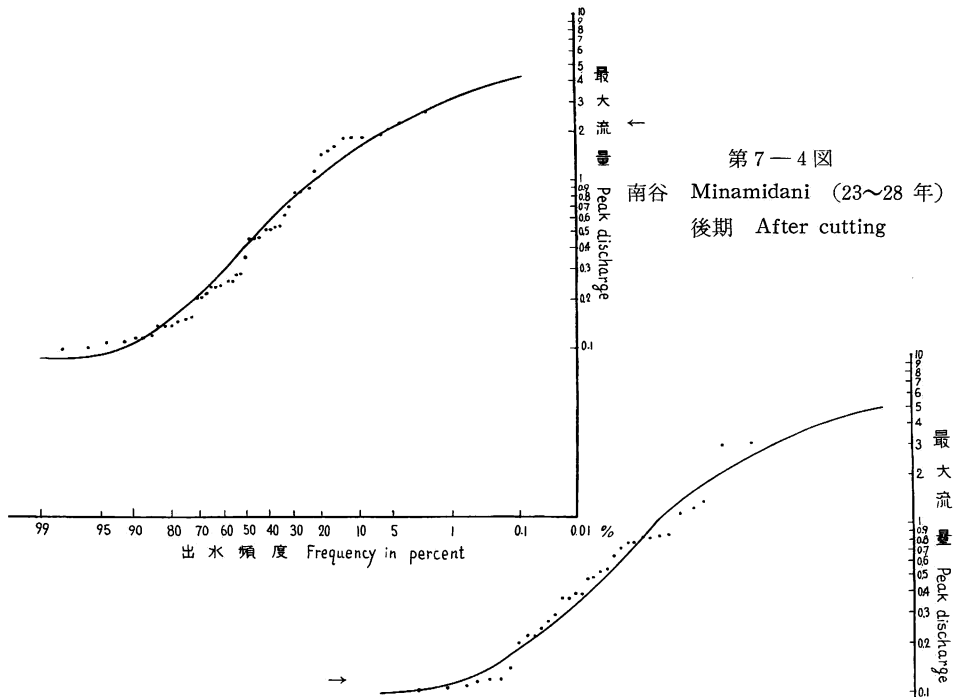


第6図

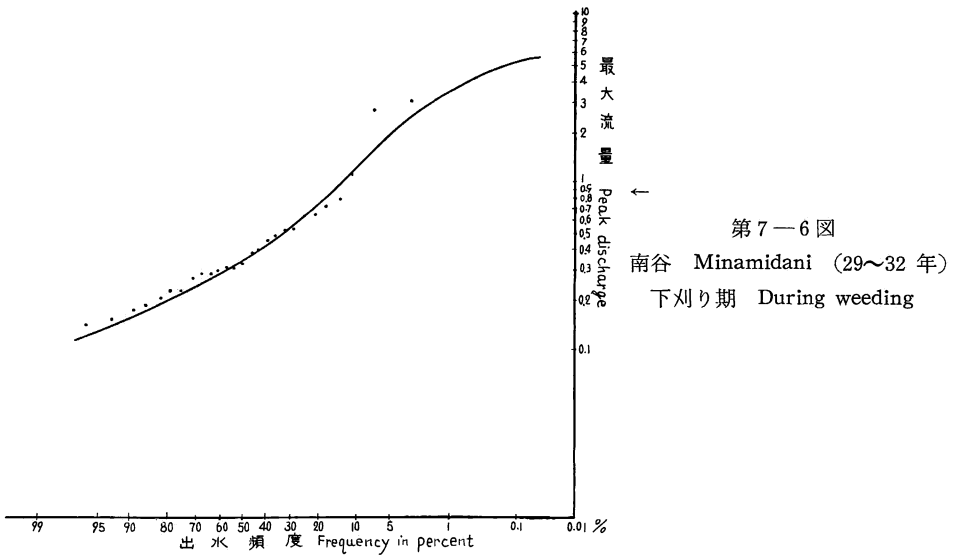
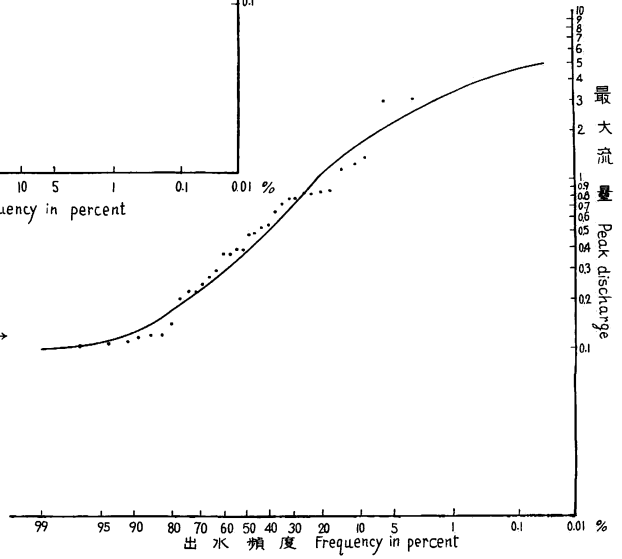
Fig. 6. Application of Slade's partial bounded probability function to the partial series



第 7 図
Fig. 7 Application of PEARSON's probability function to the partial series



第7—5図
北谷 Kitadani (29~32 年)
下刈り期 During weeding



本函数の適用によつて各谷、各期間の理論的出水頻度の解析を行なうこととした。

元来この法則は年最大流量のような度数系列に対し FOSTER¹¹⁾ らによつて適用されてきたが、その方法を略述すると、与えられた期間 (T) 内の年最大流量 (この場合は超過流量) を第 10 表のように大きさの順に並べ、これに大きい方からの番号 (m) をつける。この時 m 番目の出水またはそれ以上の出水の起こる確率は $\frac{m}{n}$ (n 資料の数) とする。資料の数が多ければこのピークの流量とその度数との関係はなめらかな度数曲線を描くはずである。この度数曲線にピアソン系の度数曲線の

$$\text{第 I 型} \quad y = y_0 \left(1 + \frac{x}{a_1}\right)^{m_1} \left(1 - \frac{x}{a_2}\right)^{m_2} \quad \text{か第 III 型} \quad y = y_0 \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\gamma a} e^{-\gamma x}$$

($y_0, a_1, a_2, m_1, m_2, a, \gamma$ 等はその系列の乗積能率で定まる常数)

のいずれかがほぼあてはまる。実際に上式を適用するに際しては、上の常数を各系列について算出するにはきわめて面倒なる手数を要するので次の便法によつた。すなわち各系列の資料についてまず第 2 次、第 3 次の乗積能率を求めこれから、その度数分布曲線の歪度を算出し、その歪度に応ずる各頻度別の度数係数を FOSTER 表¹¹⁾から求めた。この度数係数に標準偏差を乗じて平均を加え、これをその頻度に対応する最大流量とし、これを対数正規確率紙にプロットすることにより所要の推定理論曲線をえられる。下に北谷伐採後の資料をとりその計算の 1 例を示した。

まずピアソン系の第何型が適合するかを調べるため、必要な鑑別基準係数 $K^{12)}$ を求める。

$$\beta_1 = \frac{\mu_3^2}{\mu_2^3} = \frac{3.920}{0.915} = 4.284$$

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = \frac{7.130}{0.943} = 7.560$$

μ_2, μ_3, μ_4 は平均 $\bar{x}$ のまわりにおける第 2, 3, 4 次の乗積能率

$$\text{で} \quad \mu_m = \frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^m \quad n: \text{資料の数}$$

$$K = \frac{\beta_1(\beta_2 + 3)^2}{4(4\beta_2 - 3\beta_1)(2\beta_2 - 3\beta_1 - 6)} = -1.84 < 0$$

したがつてこの分布は第 1 型にあてはまることがわかつた。なお他の資料についてもすべて第 1 型に適合すると判定された。

$$\text{歪度} \quad C_S = \sqrt{\beta_1} = 2.070$$

FOSTER によると歪度は資料の数により下のごとく調節された方があてはまりがよい。

$$\hat{C}_S = C_S \left(1 + \frac{6}{n}\right) = 2.07 \left(1 + \frac{6}{54}\right) = 2.25$$

p (頻度) %	K (度数係数)	$K \times \sigma$ (σ : 標準偏差)	$K\sigma + \bar{x}$
0.1	5.65	5.62	6.48
1	3.80	3.78	4.64
5	2.16	2.15	3.03
20	0.52	0.52	1.38
50	-0.39	-0.39	0.47
80	-0.66	-0.66	0.20
95	-0.74	-0.74	0.12
99	-0.75	-0.75	0.11

$\hat{C}_S = 2.20$ として FOSTER 表よりそれぞれの頻度に応ずる度数係数 K を算出する。上表では $\hat{C}_S = 2.0$ までとなつていたので外挿法でその近似値を求めた。

このようにしてえられた値が実際の度数に適合するかどうかを χ^2 テスト^{12) 13)} すると第 12 表

第12表 χ^2 テスト表
 Table 12. Chi-square test of frequency

		流量 Class of flood $m^3/s/km^2$	実際度数 f Observed frequency	理論度数 F Computed frequency	$f-F$	$(f-F)^2$	$\frac{(f-F)^2}{F}$
北谷 Kitaeani	前期 Before c.	3.0~	3	1	2	4	0.25
		2.0~3.0	2	3	-1	1	0
		1.0~2.0	7	7	0	0	0.90
		0.5~1.0	7	10	-3	9	0.42
		0.1~0.5	24	21	3	9	$\chi^2=1.57^*$
		計	43	42			$\{0.5 < p\{\chi^2 > 1.57\} < 0.70\}$
	後期 After c.	3.0~	2	3	-1	1	0.14
		2.0~3.0	6	4	2	4	1.00
		1.0~2.0	6	9	-3	9	0.10
		0.5~1.0	11	10	1	1	0.03
		0.1~0.5	30	29	1	1	$\chi^2=1.27^*$
		計	55	55			$\{0.70 < p\{\chi^2 > 1.27\} < 0.80\}$
南谷 Minamidani	前期 Before c.	3.0~	1	1	0	0	0
		2.0~3.0	2	2	0	0	0.50
		1.0~2.0	6	6	0	0	0.67
		0.5~1.0	6	8	-2	4	$\chi^2=1.17^*$
		0.1~0.5	28	24	4	16	$\{0.70 < p\{\chi^2 > 1.17\} < 0.80\}$
		計	43	41			
	後期 After c.	3.0~	0	0	0	0	0
		2.0~3.0	2	2	0	0	0
		1.0~2.0	8	8	0	0	0.36
		0.5~1.0	9	11	-2	4	5.55
		0.1~0.5	28	18	10	100	$\chi^2=5.91^\Delta$
		計	47	39			$\{0.05 < p\{\chi^2 > 5.91\} < 0.10\}$

 注：南谷後期について $\hat{C}_s=2.0$ とした場合 $\chi^2=0.736$ となつてよく適合する。

 欄中*は適合， Δ は不適合の意。

のように $\chi^2=1.27$ となつて、この分布法則がよくあてはまることが認められる。同様に北谷前期、南谷前後期の各資料についてその適合具合を調べたところ、前2者は理論曲線によくあてはまることがわかつた。南谷の後期では、 $0.5 m^3/s/km^2$ 以上の流量については、実際度数と理論度数はよく一致するが、流量の小さい部分におけるあてはまりはとくに悪いため、全体として χ^2 テストの結果は不適合と認められた。ただしこの場合 $\hat{C}_s$ の算出値 1.6 を多少修正して 1.9~2.0 とすると流量の小さい領域においても理論と実際がよく合致し（第7図）、全体として $\chi^2=0.736$ となつてよく適合することが知られた。

以上いずれの場合もピアソン係数分布法則の適用が可能と思われるので、これによつて解析を進めることとした。

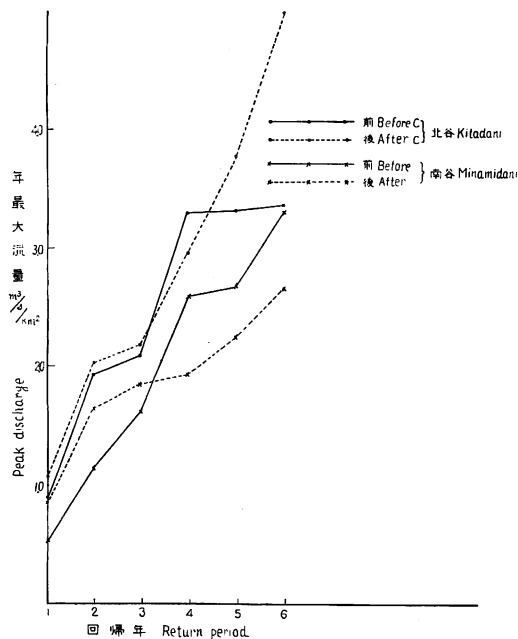
さて各期各谷の資料について、その平均、最大、標準偏差、歪度等の統計量を整理すると第11表で、平均、最大、標準偏差とも北谷が南谷より大きく、また時期別にみても北谷は伐採後により大きくなっているが、南谷ではそのような傾向はみられない（ただし南谷の後期の最大値 2.630 は推定値であり多少過小の懸念がある）。この場合でも平均は伐採後に増加している。また出水度数についてみても、前期では南北両谷に差がなかつたが、後期において北谷にかなり大きいのは伐採の影響が流域によつて異なることを示す証左であり、南谷の下刈り後において、なお北谷より少ないのは、すでにたびたび述べてきたように下刈りの出水におよぼす影響を過大に評価すべきでないことを示すものといえよう。 $\hat{C}_s$ の値は前後期

第13表 時期別出水頻度
 Table 13. Flood-frequency in each period

			0.5~ $m^3/s/km^2$	1.0~	2.0~	3.0~	4.0~	5.0~
北 谷 Kitadani	{	前 期 Before c.	48 (3.4)	28 (2.0)	11 (0.8)	3 (0.2)	1 (0.07)	0.2 (0.014)
		後 期 After c.	48 (4.3)	29 (2.4)	13 (1.2)	5 (0.5)	2 (0.18)	0.8 (0.07)
		下刈り期	43	22	7	2	0.4	0.05
		During weeding	(3.9)	(2.0)	(0.6)	(0.2)	(0.04)	(0.005)
南 谷 Minamidani	{	前 期 Before c.	37 (2.6)	20 (1.4)	6 (0.4)	1.5 (0.1)	0.3 (0.02)	0.05 (0.004)
		後 期 After c.	43 (3.4)	20 (1.6)	6 (0.5)	1 (0.08)	0.2 (0.02)	0.02 (0.002)
		下刈り期	32	13	5	1.5	0.2	0.03
		During weeding	(2.1)	(0.9)	(0.4)	(0.1)	(0.03)	(0.002)

注：（ ）内は1年あたりの出水数

とも、おおむね2.0前後であるが、各期各谷のその差は格別の意義を見いだしがたい。下刈り期の $\hat{C}_s$ の値のとくに大きいのは資料の少ない点によると思われるが、いずれにしろこの系列に確率法則の適用は無理かと思われるので図上で最小二乗線を推定し、理論曲線に代えた。第7図のこれら曲線から0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 $m^3/s/km^2$ 以上の流量の起こる確率(%)や1年あたりの出水数を求めると、第13表で各時期を通じて0.5 m^3/s 以上の出水頻度は北谷が南谷より高いことは明らかに看取され、さらに大きな出水1.0, 2.0, 3.0, 4.0 m^3/s 以上いずれの場合も北谷の頻度が南谷よりやや高い傾向が認められる。このことは逆に0.5 m^3/s 以下の出水頻度は南谷に大きいことを示すもので、南谷の流量調節機能の優秀性を表わすものといえよう。一方時期別にみると北谷ではどの流量も1年あたりの出水数は前期より後期に多いのに対し、南谷では1.0 m^3/s までの出水数は北谷同様後期に多いが、1.0 m^3/s 以上の大きな出水の頻度は前後期にはほとんど差がない。すなわち伐採による影響は南谷では比較的軽微であることは出水頻度の上においても明らかにみられる。下刈り期についてはとくに資料が少なく、その推定出水頻度の信頼度は低いが、概して両谷とも年あたりの各出水数は他の時期に比べて少ない傾向があり、また南谷が下刈りのためその出水頻度が増加したとも認められがたい。



第8図 出水の回帰年と流量との関係
Fig. 8

Return period of annual maximum discharge

いのに対し、南谷では1.0 m^3/s までの出水数は北谷同様後期に多いが、1.0 m^3/s 以上の大きな出水の頻度は前後期にはほとんど差がない。すなわち伐採による影響は南谷では比較的軽微であることは出水頻度の上においても明らかにみられる。下刈り期についてはとくに資料が少なく、その推定出水頻度の信頼度は低いが、概して両谷とも年あたりの各出水数は他の時期に比べて少ない傾向があり、また南谷が下刈りのためその出水頻度が増加したとも認められがたい。

要するに植生の出水調節の効果は流域の地形地質等の地文的条件に左右されるもので、地表植生の伐採刈払い等が直ちに出水を増大せしめるという一般的な結論は下しがたいであろう。

次に年最大出水について簡単に検討を加えて

みよう。資料を前記と同様の期間、すなわち両期とも6カ年ずつを取り、その6つの出水の回帰年と流量との関係を図示すると（第8図）、この場合も超過流量の場合と同様に同じ回帰年に対する流量は北谷がづねに南谷より大きく、また北谷では前期が後期より小さいといえるようであるが、南谷では4回帰年以上の出水はかえって後期の方が小さくなっている。いずれにしろ各期の資料が少ないので、このままでは度数法則の適用は無理かと思われる。Rowe や Long¹⁴⁾ はこのように1流域の年記録が少ない場合には、その近くの気候的、水文的には均等な条件にあるとみなされる諸流域の記録を合して、これをその流域の累計期間の年最大流量と考え、その生起頻度の推定を試みた。

本資料の場合、年最大流量を生ぜしめた雨量記録が両谷に共通であるので上述の方法を適用することは妥当とはいえないが、いまこの点を無視して、南北両谷の流量記録を合して、これを両谷に相似なある1流域の倍期間の流量記録と仮定し、これに度数法則の適用を試みることにした。

両谷の場合、その水文的条件がほぼ近似とみられるので、流量に対する補正¹⁴⁾も省略した。いずれにしろ記録期間が短いので、その精度はあまり期待できないが、これによつても、林相の変移に伴う出水頻度の変化の傾向が察知できると考えた。

第14表 合成された年最大流量と雨量
Table 14. Synthesized annual maximum peak discharge and precipitation

順位 Order	前 期 Before cutting		後 期 After cutting	
	年最大流量 Annual max. peak d. $m^3/s/km^2$	雨 量 Precipitation mm	年最大流量 Annual max. peak d. $m^3/s/km^2$	雨 量 Precipitation mm
1	3.367	99.5	4.934	104.8
2	3.274	113.4	3.776	133.5
3	3.155	110.9	2.951	71.4
4	3.009	110.9	2.670	133.5
5	2.667	99.5	2.235	104.8
6	2.601	113.4	2.186	102.3
7	2.093	99.9	2.002	104.6
8	1.941	110.9	1.919	102.3
9	1.610	99.9	1.854	71.4
10	1.152	110.9	1.665	104.6
11	0.866	105.1	1.070	65.8
12	0.510	105.1	0.858	65.8

前後両期間の最大流量と雨量とを表示すると（第14表）、最大流量の順位と雨量のそれとは平行しない。これは先行条件や雨量の質の差に原因するが、その平均では前期 107 mm、後期 97 mm と流量のそれとは逆になつてゐる。いずれにしろ後期に強雨の頻度がとくに増大したという傾向は本表によつても第11表によつても認められない。

さてこの年最大流量のような度数系列には対数確率法則¹⁰⁾ やピアソン系度数分布法則¹¹⁾¹³⁾、極値法則¹¹⁾¹⁵⁾ が適用されるが、ここでは GUMBEL の行なつた極値法則による解析法を採用することとした。すなわち年最大流量 x の起こる確率 p は、次のような式で表わされる。

$$p = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (1)$$

ここに e は自然対数の底、 y はジメンジョンのない度数で次式で表わされる。

$$v = a(x - x_f) \dots\dots\dots (2)$$

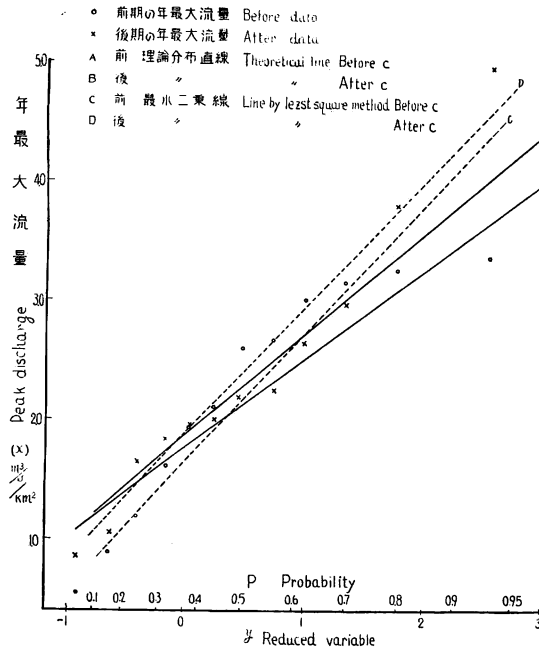
x_f は x のモードであるが、GUMBER はこれを、

$$x_f = x - 0.450 \sigma_x \dots\dots\dots (3)$$

σ_x は x の標準偏差, また $a = \frac{1}{0.7797 \sigma_x}$ から算出した。

なお (1) 式の p は最大流量を大きさの順に並べた場合の序数 m を資料の数に 1 を加えた $n+1$ で除して求めた。

いま第 14 表の資料からそれぞれの生起確率 p を $\frac{m}{n+1}$ で求め, この p に対応する y を (1) 式か



第 9 図 年最大流量に対する極値法則の適用
Fig. 9 Application of extreme value law to annual maximum discharge

	2.0m³/s以上	3.0m³/s以上	4.0m³/s以上
前 期	1.9年 (1.6)	4.5 (6.6)	25.0 (22.0)
後 期	1.7 (1.4)	3.3 (3.3)	12.5 (10.0)

() は第 13 表からえられる両谷の回帰年の平均値。少ないことから危険でもあるが, 大ざっぱにみて宝川試験地や釜淵試験地のそれに比べていちじるしい差があるともみられない。以上 3 流域は他の諸条件より, 面積的に格段の差があることから, その影響は他の環境因子に比べ比較的小さいのではないかと想像される。しかしこれについては, TROBITZ¹⁵⁾ や POTTER¹⁶⁾ によるそれぞれ異なつた報告もあるので, さらに数多くの資料についての統計的吟味のうえ結論をくだすべきであろう。

以上を要するに, ある流域の出水頻度はその植生密度の変化により影響されるが, その程度はその流域の地文的条件により左右されるもので, 地形・土壌条件が良好で伐採下刈りによつて直接表土の破壊のない限り, 少なくとも大きな出水の頻度にはさしたる変化がないが, 地表面の攪乱で土壌が多少とも悪化する懸念のある劣悪な条件の場合は, その出水頻度はいちじるしく高まる危険がある。

ら算出した。縦軸に最大流量 x を, 横軸に y とこれに対応する確率 p とを目盛つた特殊な座標に, 上の y と x をプロットすると (第 9 図), 後期ではほぼ直線に近いものとなるが, 前期では放物線に近い曲線状をしめす。

この y と x との (2) 式の関係を示したのが A (前期), B (後期) 直線である。これに対し (1) 式から算出された y と, これに対応する実際の流量 x との間の回帰直線を最小二乗法で求めると, C (前期), D (後期) 直線となり, それぞれ A, B 直線より, 大きな出水の起こる確率は多少低くなつてゐる。頻度解析にあたつて, 上の理論線, 回帰線のいずれによるべきか問題もあるが, ここでは前者によつて時期別の比較を行なつた。第 9 図から 2.0, 3.0, 4.0 m³/s 以上の出水の起こる回帰年を求めると左表となつて 3.0 m³/s 以上の出水の起こる頻度は明らかに後期に高いことが認められ, その回帰年は第 14 表から算出してえた両谷の回帰年の平均値にほぼ近い値を示している。なおこの値を他の理水試験地のそれと比較することは, 雨量条件の差や資料の

む す び

1) 前期・後期の植生調査の結果によると、伐採によつてササ・メダケ類が勢力を占め、ために草木の種類・頻度・被度ともに後期において減少している。すなわち林冠による立体的なウツ閉は早急に回復できないが、ササ・メダケ類、灌木、雑木類による林床付近のウツ閉は、前期より多少増加しているものと思われる。南谷では昭和 29 年から 3 カ年で流域内の一部アカマツ幼齢林の散生地を除いて、全植生の刈払い地拵を行なつた。

2) 流量の経年変化をみるに、高水量・低水量とも伐採後に増加するが、植生の回復につれふたび減少の傾向があり、また下刈りによつて高水量に大した変化はないが、低水量は明らかに上昇している。

3) 流域内の植生別の土壌水分の測定によると、アカマツ林地は最も乾燥し、ササ密生地が最も湿つていた。

4) 林地の地表流下量は、下刈りにより多少増加することが認められ、開墾後一時的に地表流下量は減少するが、後にはいちじるしく増加する。

5) 植生の伐採・下刈りによつて、最大流量の増加する傾向は原則的には認めうるが、その程度は流域の地文的条件によつて大差がある。しかし顕著な出水の場合には、地形条件や植生密度の多少の差、とくに後者の影響は漸次小さくなる。最大流量に影響する因子として重要なのは積算雨量や増水前の水位であるが、大きな出水では最大時雨量の比重は急に増大する。

6) 雨量の集中時から流量の集中時までの時間のズレ lag や、南北両谷のピーク時のズレは、伐採下刈り等の植生の変化によつて影響されない。

7) $0.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以上の出水頻度は常に北谷が南谷より高く、時期別にみると、北谷では大きな出水の起こる度数は伐採後にとくに多いが、南谷でも $1.0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ までの出水数は伐採後に多く、それ以上の出水数は前後期の間に変わらない。また年最大流量についてみても常に北谷が南谷よりやや大きい、両谷を合わせた前後期の資料について検討したところ、同じ頻度に対応する最大流量は後期は前期より大きいことがみとめられた。

以上を総括すると、

温暖寡雨地帯のアカマツ林において、その伐採による増水量、最大流量の増加の傾向は一応認めえられるが、その程度は地況によつてかなり差があり、地況が水文的に良好な流域では、ともにいちじるしい変化はなく、伐採によつて、多少とも土壌の悪化が予想される悪条件の地況の下では、伐採によつて流量は顕著な増加をする。植生は流量調節の面で地況の不利を補足する機能は大きいが有有限であり、地況の流量におよぼす機能に比べると小さいと思われる。いずれにしる本試験地においては、伐採下刈りの治水上の影響を過大に評価すべきでないという結論をうるが、この結果を一般の針葉樹林の皆伐の場合に敷衍できるかは大いに疑問である。

文 献

1) 武田繁後：竜の口山水源涵養試験第1回報告

萩原貞夫：竜の口山水源涵養試験第2回報告

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

- 白井純郎・近藤松一・小林忠一：竜の口山水源涵養試験第 4 回報告，林試研報，68 (1954)
- 2) 白井純郎・近藤松一：林地の地表流下について，林試研報，92 (1956)
- 3) 川口武雄：地表流下雨量について，森林治水気象彙報，20 (1944)
- 4) KITTREDGE, J.: Forest influences. McGraw-Hill Book Co., (1948)
- 5) スネデカー：統計的方法 下，(岩波)
- 6) 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 (1952)
- 7) 武田繁後：宝川森林治水試験第 2 回報告，前橋営林局，(1950)
- 8) 物部長穂：水理学，岩波書店 (1934)
- 9) GUMBEL, E. T.: Paper Hydrology, (1943)
- 10) CHOW, Ven Te: Agricultural Engineering, April, (1958)
- 11) LINSLEY, R. K. and Others: Applied hydrology, McGraw-Hill Book Co., (1949)
- 12) 佐藤良一郎：数理統計学，培風館，(1956)
- 13) Transaction American Geophysical Union, (1943)
- 14) ROBINSON, R. Rowe and GORDON, L. Long, etc.: Transaction American Geophysical Union, December, (1957)
- 15) ANDERSON, H. W. and TROBITZ, H. K.: Journal of forestry, (1949)
- 16) POTTER, W. D.: Transaction, American Geophysical Union, February, (1953)

Experiments in the Water-conservative Function at Tatsunokuchi **Bulletin 5**

(Principally on the analysis of peak discharge in various stages of forest treatment)
Junrō SHIRAI and Kichinosuke HOSHIKAWA

(Résumé)

Introduction

This experiment was conducted for the purpose of studying the water-conservative function of pine trees in a warm and dry region, and was begun in 1937. The history of this experiment and descriptive particulars of the two watersheds were fully presented in Bulletin 3 (1950) or 4 (1954), and so, in this report, we repeat only the brief introduction of those matters but have supplemented it by giving the later change of vegetation within the watersheds. The two watersheds, Kitadani and Minamidani, are more or less the same in area and average slope (the former 17.27 *ha*, 30.9° and the latter 22.61 *ha*, 26.1°), and in bearing and forest cover, no conspicuous differences can be found between the two.

In the first plan of this experiment, it was intended to compare runoff of Minamidani at which all vegetations would be cut off in 1945 with the runoff of Kitadani at which all forest trees would be tended well as the control watershed. But from 1940 onwards the pine trees were damaged annually by pine bark beetles, and finally, in 1944~1946, all pine trees except the young ones in both watersheds were cut down in order to check spreading of the harmful insects. Afterwards, as the watersheds were left without any treatment, they were covered with bamboo in large part, and with shrubs and miscellaneous trees here and there.

The kinds and frequencies of their vegetation are detailed in Table 1, 2, and the data therein show that there was little difference between the two watersheds, but a remarkable difference between the two periods, that is, before and after cutting. From 1954 to 1956, at Minamidani all vegetation was cleared off by way of afforestation *Chamaecyparis*.

In this report we have endeavoured to set forth the analysis of variation of runoff, especially peak discharge, that took place during three periods namely, before cutting (1937~1943), after cutting (1947~1953), and during weeding (1954~1956).

Results

(1) Generally speaking, bamboo bushes grew predominantly after cutting, and various kinds, frequencies, and cover density of trees and grasses decreased as compared with before cutting.

(2) High water and low water increased each year after cutting, but there was a tendency to decrease after a while in proportion to the recovery of vegetation. And weeding brought an increase of the low water, but had little effect on the high water.

(3) From the results of investigation of the soil moisture on various vegetations near the experimental watershed, it was found that the pine forest was driest and bamboo bush very moist.

(4) The surface runoff within the experimental plots (25 m × 15 m) increased to some extent by weeding, and after tillage decreased for some time; but two years later, increased inversely several times in quantity.

(5) As to methods for analyzing the relation between vegetation and flood, we first tried to represent peak-flow as function of 3 variables, namely, accumulated precipitation from beginning of increase to its peak, maximum per-hour precipitation, and gage-height before rainfall.

Sampling as much as possible the peak-flow with comparatively simple hydrographs, and classifying the data by the gage-height, we deduced the following equation from the samples of each class:

$$\log z = a \log x + b \log y + c$$

where z is peak-flow l/s ; x is accumulated precipitation mm ; y is maximum per hour precipitation mm ; a , b , c , are constant, coefficients.

From the equation we presumed some significant relation between a , c , and vegetation or gage-height, but the relation was not so regular as expected; the series of b were particularly irregular. Then by supplementing one more variable H (gage-height) to the above equation, we deduced the following equations on each period:

$$\log z = a \log x + b \log y + c \log H + d$$

Comparing the above coefficients, we presumed that accumulated precipitation was most powerful to peak-flow within 3 variables, and at Kitadani the peak-flow increased by cutting; but at Minamidani no distinct differences among the three periods were found. Especially in the cases of large peak-flows above 100 l/s , such differences between the periods or the two watersheds gradually became small.

(6) On flood frequency analysis, we at first tried to adopt the Foster method developed from Pearson's function to the partial series (floods above a base), and it was proved by Chi-square test that the computed frequencies agreed with the observed frequencies significantly. Secondly, we applied the extreme-value law to annual floods, but as the number of years in one period were too few to adopt the law, we synthesized the data of the two watersheds in

the same period after the method by Ven Te Chew. The results were: every occurrence of flood above 0.5, 1.0, 3.0 $m^3/s/km^2$ was always higher in Kitadani than in Minamidani. And a tendency of the flood frequency to suddenly increase after the cutting down of the pine trees was distinctly seen in Kitadani, but in Minamidani no such tendency could be found even by weeding. Annual floods were also bigger in Kitadani than in Minamidani, and from the above-mentioned synthesized data we conjectured considerable differences between before and after cutting.

(7) The lag from peak of precipitation to peak of discharge was not significantly reduced by clearing off the vegetation.

Summarizing the above results, it might be generally concluded that cutting of pine trees in this region caused raising of increased discharge and of its peak; but in a hydrologically excellent watershed, in which the soil condition would be free from the fear of being spoiled by cutting, we could not expect an increase of peak-flow after cutting.

Accordingly, it was judged that the effect on discharge of geological and topographical conditions was perhaps more predominant, that is to say, than that of vegetation, but the former was not limitless, and at the extreme floods became faint.

In short, the pine forest is fairly effective in the matter of erosion and flood control, but must not be over-estimated. And as regards the water-conservative function, the pine forest in this region could not be affirmed to be more effective than the other vegetations.

伐採前の植生 Vegetation before cutting



上部壮齡林 (南谷)
Matured forest in the upper
(Minamidani)



上部壮齡林 (南谷)
Matured forest in the upper
(Minamidani)



老壮齡林 (南谷)
Over-matured and matured forest (Minamidani)



中腹以上の老幼齡林 (北谷)
Over-matured forest and young forest
above the median side (Kitadani)



壮齡林 (北谷)
Matured forest (Kitadani)

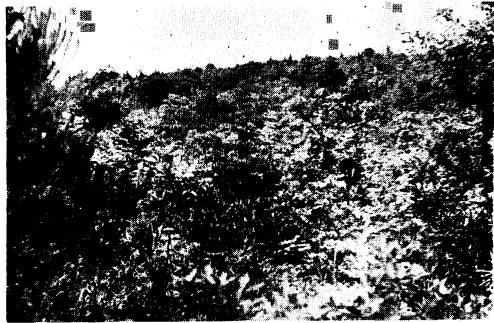


壮齡林 (北谷)
Matured forest (Kitadani)

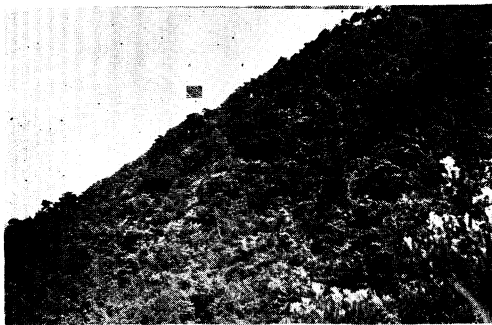
伐採後の植生 Vegetation after cutting



山頂付近 (南谷)
Neighbourhood of summit
(Minamidani)



山麓 (南谷)
Neighbourhood of the foot
(Minamidani)



北側山腹 (南谷)
North mountain-side (Minamidani)



北側山腹 (北谷)
North mountain-side (Kitadani)



両谷境界付近 (北谷)
Neighbourhood of summit of both
water-shed (Kitadani)



南側山腹 (北谷)
South mountain-side (Kitadani)



下刈り後 (南谷)
After weeding (Minamidani)



下刈り後 (南谷)
After weeding (Minamidani)