

短報および試験研究資料

人工林の保育に関する研究

——アカマツ・ヒノキ混交林における上木伐採後10年目のヒノキの生長——

山 本 久仁雄・河 原 輝 彦・加 茂 皓 一

樹種の混交は、公益機能の発揮や地力の維持に寄与するとともに、樹冠が複層化し、立体的な光や空間の利用により、その生産性を高める可能性も期待できる。

表-1 アカマツ・ヒノキ混交林における伐採前後の林況

Plot	調 査 時	樹 種	林 齢	平 均			ha あ た り		
				胸 高 直 径 (cm)	樹 高 (m)	枝下高 (m)	本 数 (本)	胸 高 断 面 積 (m ²)	材 積 (m ³)
P 1	上 木 伐 採 区	ヒ ノ キ アカマツ 計	25	10.1	9.4	2.8	1,170	9.70	52.97
			24	19.1	16.2	9.6	626	20.68	160.79
							1,796	30.38	213.76
		ヒ ノ キ	29	12.8	11.0	3.0	1,143	15.23	93.55
			34	16.4	13.3	4.7	1,143	25.21	178.11
	対 照 区	ヒ ノ キ アカマツ 計	25	10.4	10.2	2.9	959	8.94	56.20
			24	19.1	16.2	9.6	699	20.68	160.79
							1,658	29.62	216.99
		ヒ ノ キ アカマツ 計	29	12.1	11.5	3.2	945	11.88	82.79
			28	21.3	18.1	11.7	603	22.34	184.11
							1,548	34.22	266.90
P 2	上 木 伐 採 区	ヒ ノ キ アカマツ 計	31	10.2	10.7	4.5	1,409	11.62	69.95
			30	16.5	15.6	9.7	772	17.33	133.52
							2,181	28.95	203.47
		ヒ ノ キ	36	12.5	12.3	4.5	1,376	18.76	127.23
			41	15.0	13.2	6.5	1,376	25.30	178.16
	対 照 区	ヒ ノ キ アカマツ 計	31	10.4	10.9	4.7	1,544	13.28	80.96
			30	18.8	16.4	9.6	705	20.79	159.73
							2,249	34.07	240.69
		ヒ ノ キ アカマツ 計	36	11.8	11.9	5.0	1,510	17.02	113.71
			35	21.4	18.6	11.3	638	24.45	204.70
							2,148	41.47	318.41
	区	ヒ ノ キ アカマツ 計	41	12.9	12.9	6.4	1,510	20.55	147.39
			40	24.0	20.6	12.2	604	29.06	265.62
							2,114	49.61	413.01

Plot		調査時	樹種	林齢	平均			haあたりに		
					胸高直 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	本数 (本)	胸断面積 (㎡)	材積 (㎡)
P 3	上木伐採区	47. 3 (伐採前)	ヒノキ	22	9.7	9.7	3.9	2,068	15.40	83.10
			アカマツ	19	13.0	12.9	7.3	1,224	16.80	115.82
			計				3,292	32.20	198.92	
	対照区	51. 12 (伐採5年後)	ヒノキ	27	12.0	11.5	4.7	1,983	22.98	143.90
			ヒノキ	32	14.0	12.8	6.6	1,899	29.96	203.24
		47. 3	ヒノキ	21	10.5	10.0	4.4	1,674	15.12	84.28
			アカマツ	19	13.3	13.1	7.1	1,116	16.01	105.15
			計				2,790	31.13	189.43	
		51. 12	ヒノキ	26	11.7	11.5	4.9	1,674	18.50	118.65
			アカマツ	24	16.7	16.4	9.1	1,030	23.37	180.69
			計				2,704	41.87	299.34	
		56. 10	ヒノキ	31	13.2	12.6	6.2	1,545	21.96	148.12
	アカマツ		29	19.3	17.2	11.2	644	19.66	159.91	
	計					2,189	41.62	308.03		
	P 4	上木伐採区	47. 3 (伐採前)	ヒノキ	21	8.0	8.4	3.7	2,519	12.92
アカマツ				20	10.8	11.4	6.7	1,995	17.92	114.13
計							4,514	30.84	176.84	
対照区		51. 12 (伐採5年後)	ヒノキ	26	10.6	10.4	4.2	2,469	22.45	130.22
			ヒノキ	31	12.7	12.0	6.7	2,369	31.32	206.50
		47. 3	ヒノキ	21	8.8	8.4	3.3	2,227	13.69	63.73
			アカマツ	19	11.0	11.3	6.4	1,137	11.59	70.14
			計				3,364	25.28	133.87	
		51. 12	ヒノキ	26	10.3	10.0	3.8	2,227	19.48	108.19
			アカマツ	24	13.8	14.0	7.9	1,043	16.74	118.48
			計				3,270	36.22	226.67	
		56. 10	ヒノキ	31	11.6	11.2	5.5	2,227	24.68	150.73
アカマツ			29	17.7	16.3	9.6	900	23.21	179.80	
計						3,127	47.89	330.53		

兵庫県中南部一帯には、アカマツ・ヒノキの混交二段林が多く存在している。優良アカマツ材生産地として知られている当地域では、当初からヒノキ造林地にアカマツの天然更新を期待し、積極的にアカマツ・ヒノキの混交林施業が取り入れられ、他に見られない特色がある。しかしながら、目的に対応した施業体系などの基準もなく、単にアカマツ材と同時にヒノキを生産する目的で、蓄積量増大を意識しての保護管理や保育がなされている。

当支場においては、地域的な課題の一つとして、この地域を対象に、昭和43～44年度に8か所、17林分の実態調査を行なったが、混交林と対比する純林の抽出に面積的にも制約されたので、46年度改めて上木のアカマツを伐採した固定プロットを設定した。一方、昭和45～48年度には、関西地区林試連絡協議会保育部会

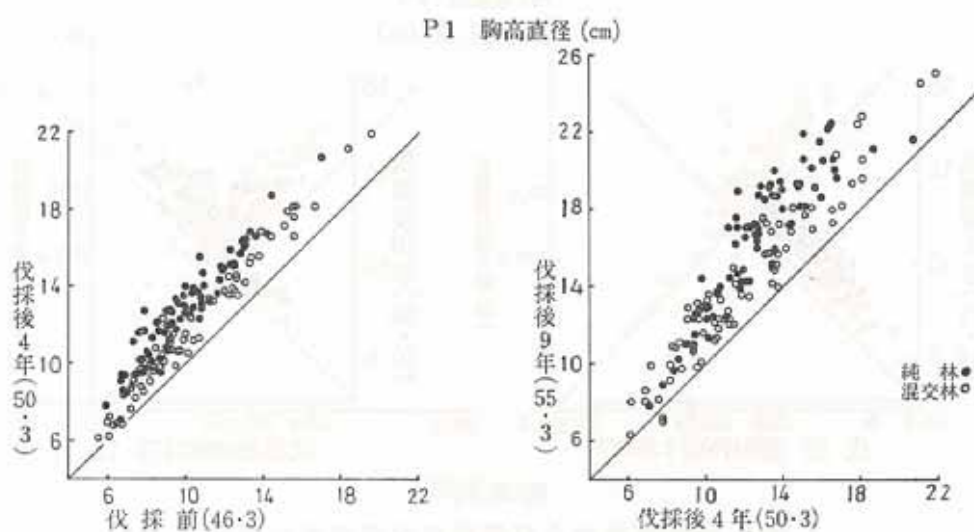


図-1(a)

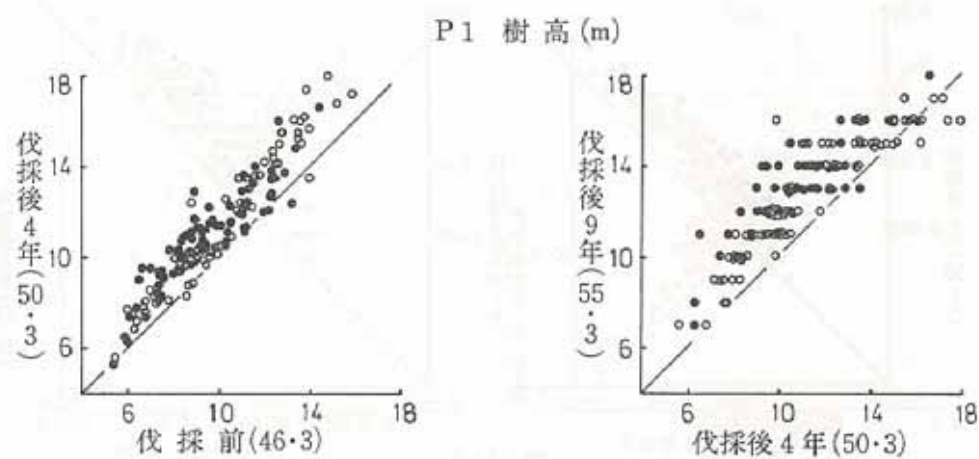


図-1(b)

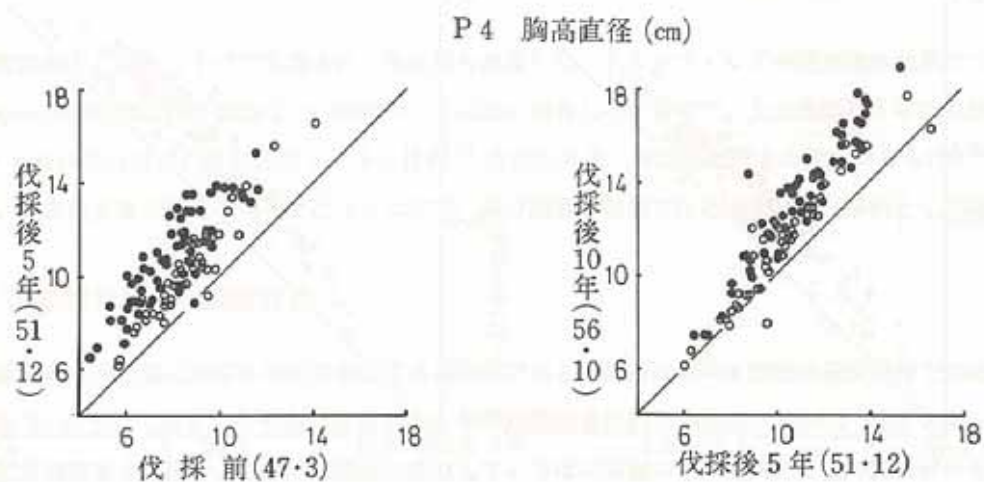


図-1(c)

P4 樹高 (m)

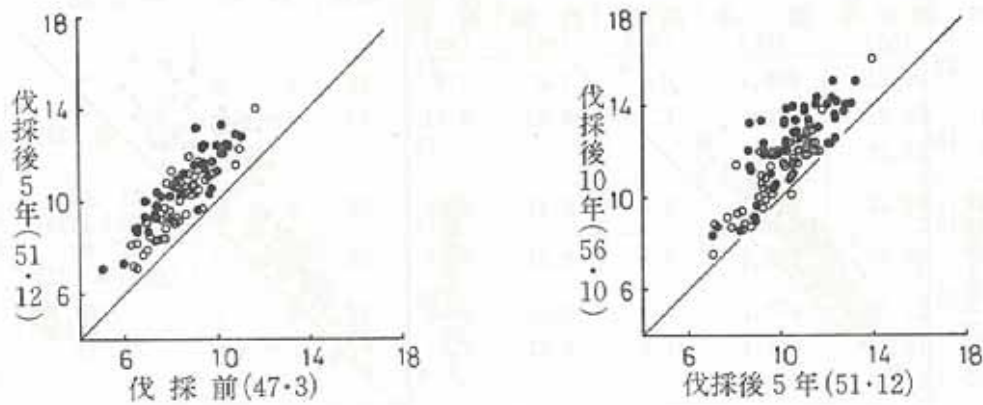


図-1(d)

図-1 胸高直径および樹高の伐採前後の関係

P1 断面積 (m²)

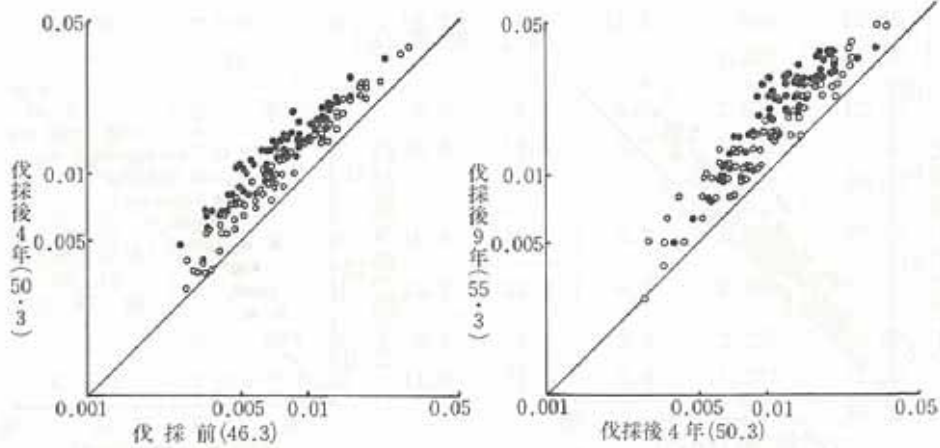


図-2(a)

P1 材積 (m³)

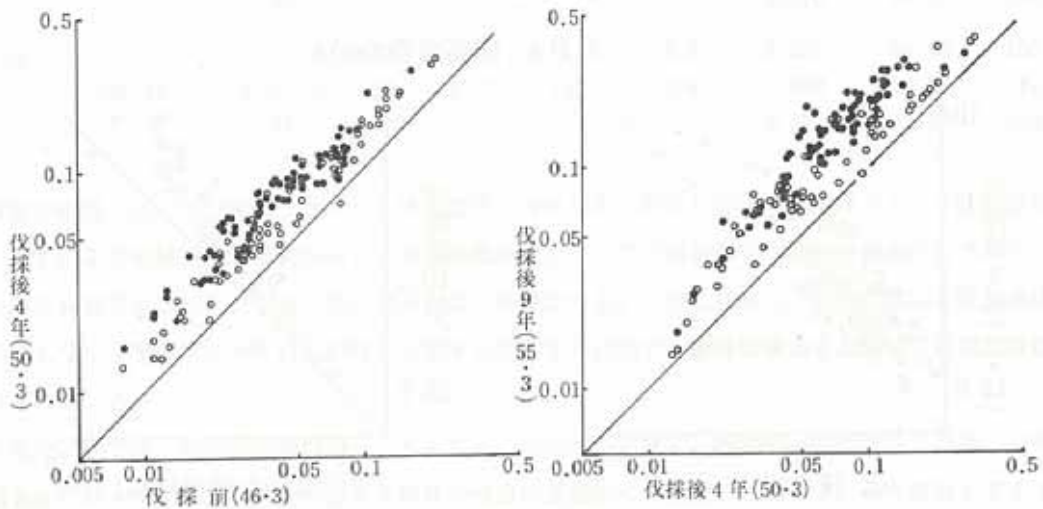


図-2(b)

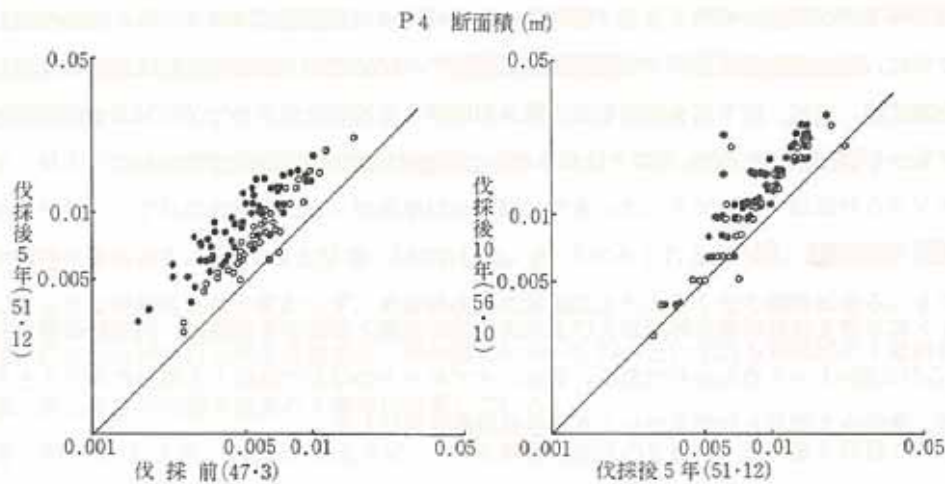


図-2(c)

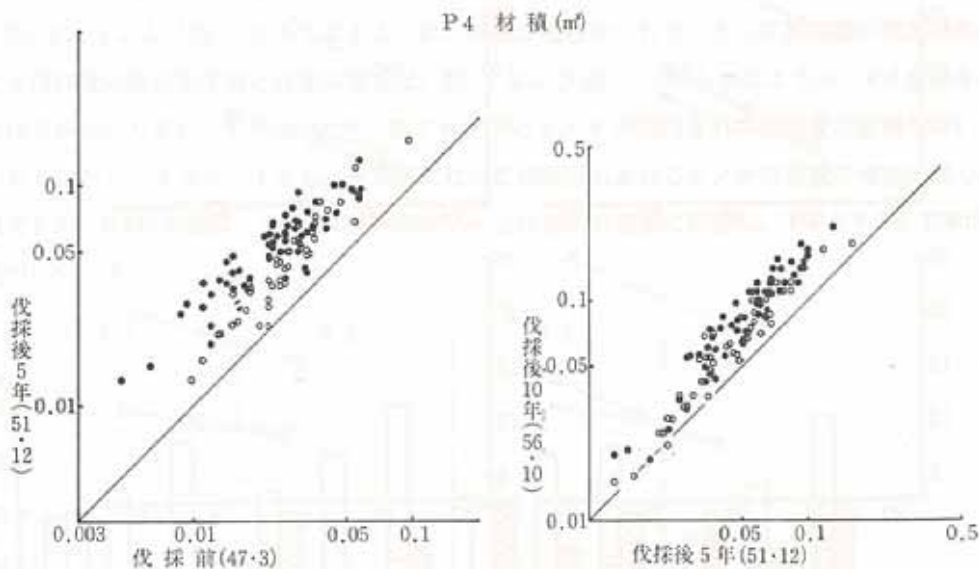


図-2(d)

図-2 胸高断面積および材積の伐採前後の関係

の共同研究課題として取り上げて実施され、当支場も参画した。アカマツ・ヒノキ混交林の成果については、その成立から、生長経過、林分構造など一部については既に報告している^{1)~5)}。上木伐採後5年目の調査結果では、ヒノキ純林区は対照の混交区のヒノキと比較し、直径生長量、材積量に増大の傾向がみられた⁶⁾。昭和56年10月、上木伐採後10年目の調査を行なったので、林分調査の結果ではあるが、参考事例として報告する。

1. 調査地の概況と調査方法

調査地は兵庫県水上郡山南町小野尻に所在する民有林である。標高は200m前後の丘陵地帯で、流紋岩を母材とするB_D型土壌である。年平均気温は17℃、年平均降雨量は約1,500mmである。調査プロットの設定は、上記実態調査8か所から、均一な地形に成立しているほぼ同齢のアカマツ・ヒノキ混交林分を選び、4か所のプロットを設定した。4プロットをさらに上木伐採区と対照区にそれぞれ2分割した。4プロット

の設定は、46年3月、11月、47年3月の3回に分けて行い、その面積は0.05～0.15haであった。上木伐採区のアカマツは、設定後調査の上すべて伐倒した。調査プロットにおける毎木調査は、表-1で示した調査時に行い、胸高直径、樹高、枝下高を測定した。なお、55年3月、所有者がマツクイムシ防除を理由に、P1対照区のアカマツを間伐したので、P1では5年ごとの調査を1年繰り上げて行なった。

2. 調査結果

各プロットにおける伐採前後の林況および上木伐採後の直径と樹高の生長経過、胸高断面積と材積の推移は表-1ならびに図-1～4のとおりである。なお、4プロットのなかで地位上と思われるP1とP4について、伐採前、伐採後5年目と10年目のヒノキの生長関係を対比した。

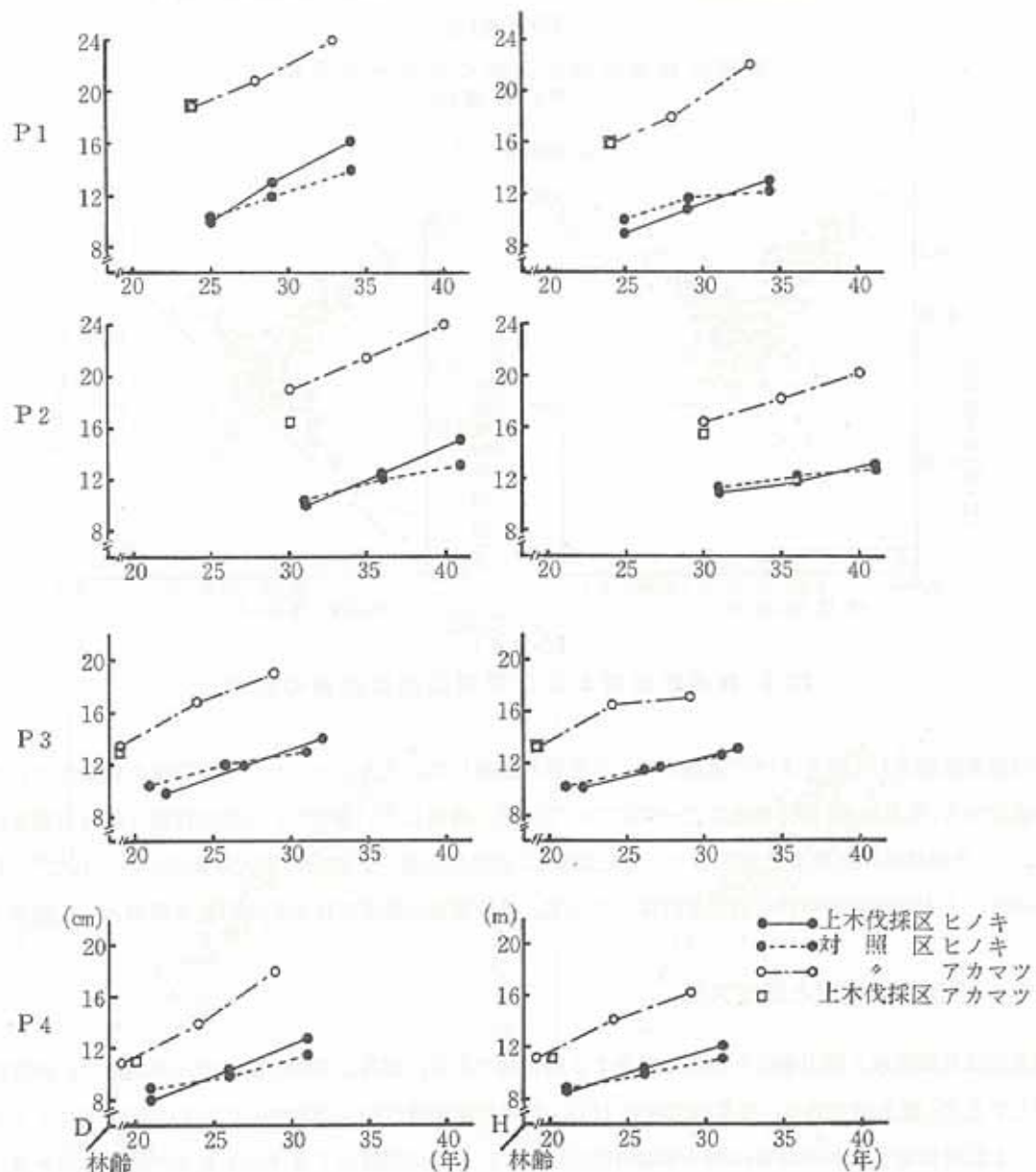


図-3 上木伐採後のヒノキの平均直径(D)と平均樹高(H)の生長経過(林分あたり)

密度：伐採前の各プロットの本数密度は、1,658～4,514本/haであり、ヒノキの混交率は60%前後であった。上木伐採後の密度は、表-1のようであるが、対照区が伐採区より約17%多くなった。しかし、ヒノキの本数では伐採区とはほぼ同じであり、対照区ともそれほど違わなかった。

平均直径：単木の直径分布を伐採前後で対比すると、図-1のようになった。ここではP1とP4の2プロットだけ示したが、いずれの直径階でも、生長率はほぼ同じであった。4プロットにおけるヒノキの林分当たりの平均直径生長経過を、図-3および表-1に示した。図-3にみられるように、伐採区の生長は、伐採後5年目ごろまでは対照区と余り変わらず、その後次第に対照区より大きくなる傾向にある。また、4プロットの伐採区における10年目の年生長量では、平均値で0.40～0.72cmといずれも対照区の2倍内外の肥大を示し、兵庫、岡山地方の収穫予想表の2等地に位置している。

平均樹高：図-1および図-3に示したように、P4を除き伐採区の生長は、伐採後8年目ごろまでは対照区とほとんど変わらず、その後次第に較差が現れる傾向がみられる。すなわち、ヒノキの樹高生長では、上木を伐採後8年ごろまでは、直径生長とは異なり、上木除去の影響はみられない。

蓄積：図-2、4および表-1にみられるように、林齢が進むにつれて、さらに蓄積量の増加傾向がうかがえる。上木伐採後の胸高断面積と材積の推移は、図-4および表-1で明らかのように、P3を除き対照区の混交林のほうがかなり多い。P3は、近年一部アカマツとヒノキが間伐され本数密度が影響していると思われる。しかしながら、4プロットとも、対照区に比べて伐採区におけるヒノキの蓄積の増加は著しい。伐採後10年目でP3とP4の材積は、それぞれ約200m³/haと伐採前の蓄積に回復し、P1とP2も178m³/haと伐採前に近づいている。

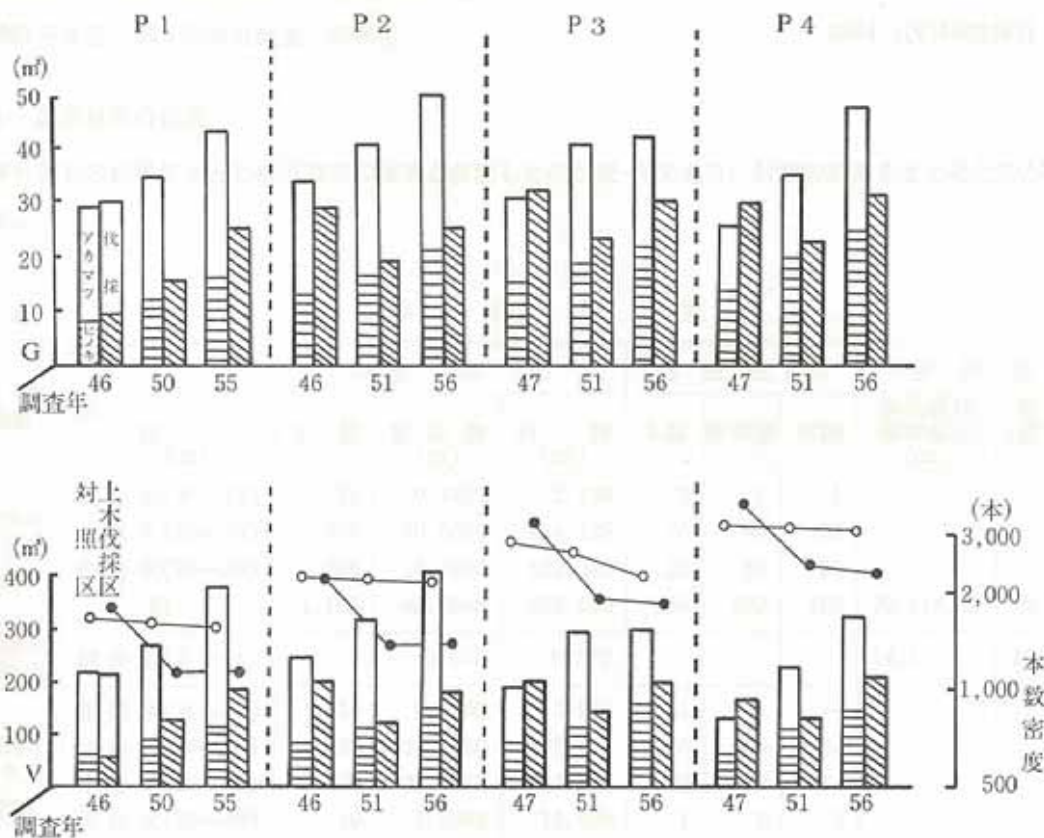


図-4 上木伐採前後の胸高断面積(G)と幹材積(V)(haあたり)

以上アカマツ・ヒノキ混交林で、上木のアカマツを伐採除去した後のヒノキ林の生長について、10年間の生長量や蓄積などの態様を示したが、今後どんな収穫や生長経過をたどるのか、混交林施業は、生態的にも興味ある問題である。ただ、アカマツのマツクイムシ被害の拡大があり、将来もこのような施業が続けられるかには危惧がもたれる。

参 考 文 献

- 1) 早稲田収・山本久仁雄・藤森隆郎・齊藤勝郎：混交林の経営に関する研究—兵庫県山南町におけるヒノキ、アカマツ混交林調査の結果—，林試関西支場年報 No.11, 1969
- 2) 山本久仁雄・早稲田収：混交林の経営に関する研究（Ⅰ）—ヒノキ・アカマツ混交林の実態—，日林講（82），1971
- 3) 山本久仁雄・早稲田収：混交林の経営に関する研究（Ⅱ）—ヒノキ・アカマツ混交林の材積—，日林関西支講（23），1972
- 4) 山本久仁雄・早稲田収：混交林の経営に関する研究（Ⅲ）—兵庫県山南町におけるアカマツ・ヒノキ混交林の林分構造—，日林関西支講（26），1975
- 5) 関西地区林試連絡協議会保育部会：アカマツ・ヒノキ混交林に関する研究，1976
- 6) 山本久仁雄・齊藤勝郎：混交林の経営に関する研究（Ⅳ）—アカマツ・ヒノキ混交林の上層木伐採後におけるヒノキの生長—，日林関西支講（28），1977
- 7) 河原輝彦・山本久仁雄：ヒノキ・アカマツ混交林に関する研究（Ⅰ）物質生産と分解速度について，日林誌64(9)，1982

国 定 試 験 地 の 調 査 結 果

長谷川 敬 一・上 野 賢 爾

I. 白見スギ人工林皆伐用材林作業収穫試験地

1. 試験地の概況

試験地は大阪営林局新宮営林署部内、和歌山県新宮市高田町字白見国有林5林班は小班に所在し、スギ人工林の成長量および収穫量についての統計資料を収集するため、1962年2月に設定された。この試験地は海拔高300m、西に面した37度の急斜面の中腹から下部に位置し、地質は花崗斑岩、土性は埴質土であり、雨量は年間4,000mmに近い多雨地帯である。

2. 試験経過

試験地設定から今回までの調査経過は次のとおりであり、今回は5回目の調査に当たる。

1962年2月 試験地設定。第1回林分調査、10年生

1967年3月 第2回林分調査と間伐、15年生

1972年3月 第3回林分調査と間伐、20年生

1976年9月 第4回林分調査と間伐、25年生

1981年9月 第5回林分調査、30年生

3. 調査結果の概要

林分調査の結果をまとめ前回調査の結果と併記したのが表-1であり、材積の成長をまとめたのが表-2である。

表-1 林 分 構 成

調 査 (林齢)	径 級 (cm)	ha あ た り			構 成 比 (%)			平 均 形 態	
		本 数	断 面 積 (m ²)	材 積 (m ³)	本数	断面積	材積	胸高直径 (標準偏差) (cm)	樹 高 (標準偏差) (m)
1976年 9月 (25)	細径木(8~14)	25	0.3425	2.330	2	1	1	22.1(4.0)	16.5(1.7)
	小径木(16~24)	895	30.5660	234.235	76	65	63		
	中径木(26~36)	265	16.0460	132.040	22	34	36		
	計	1,185	46.9545	368.605	100	100	100		
期間中 の枯損	細径木(8~14)	5	0.078	0.570				14.1	14.4
1981年 9月 (30)	細径木(8~14)	10	0.1365	0.950	1	1	—	24.9(4.8)	19.0(2.1)
	小径木(16~24)	590	21.0450	179.010	50	35	34		
	中径木(26~36)	570	37.0585	337.235	48	62	64		
	大径木(38~50)	10	1.2665	12.085	1	2	2		
	計	1,180	59.5065	529.280	100	100	100		

表-2 林分の成長量と収穫量 (haあたり)

径級別	過去5年間の成長		間伐累計		林分総生産量	
	連年成長量 (m ³)	成長率 (%)	本数	材積 (m ³)	本数	材積 (m ³)
細径木	0.023	0.96	1,560	34.530	1,570	35.480
小径木	19.936	7.02	410	74.565	1,000	253.575
中径木	12.176	7.49			570	337.235
大径木					10	12.085
計	32.135	7.16	1,970	109.095	3,150	638.375

この5年間に平均して胸高直径は2.8cm、樹高は2.5m成長し、形状比は0.746から0.763と幾分高くなった。このため、林分密度は収量比数で0.67から0.77になり0.1密度が高くなり、また、これを相対幹距密度で見ると17.6%から15.3%となり2.3%高密度となった。

材積はこの5年間に160.7m³/ha成長した。したがってこの間における連年成長量は32.1m³/haであり、総生産量に対する平均成長量は21.3m³/haの高い水準の成長である。前々回と前回との間の連年成長量が30.1m³/haであり、前回の平均成長量が19.1m³/haであることから、30年生のこの林分の連年成長、平均成長はともに依然として上昇傾向にあることがわかる。

こうした成長傾向を収穫表（紀州地方スギ林）と対比すると、本数材積がやや多いが、地位は上である。前回調査との間の直径成長、樹高成長は表-3のとおりである。

胸高直径と直径成長の間には顕著な正の比例関係がみられ、同一林分内での直径成長の一般的傾向を示している。連年成長から平均的な年輪巾を推定すると、林内の小さな木では1.5～2mm、中程の木では2～3mm、大きな木では3～5mmの年輪巾をもって成長しており、中程の木、大きな木の年輪巾は良質材生産としてはやや粗すぎる事が分かる。

樹高成長についても胸高直径との間の比例関係はみられるが直径成長の場合ほどその関係は強くない。

表-3 直径、樹高の成長

直径階	本数	胸高直径 (cm)			樹高 (m)		
		76年	81年	連年成長	76年	81年	連年成長
12	2	11.25	13.15	0.38	12.00	13.65	0.33
14	2	14.50	15.75	0.25	13.55	15.15	0.32
16	16	16.02	17.54	0.30	14.38	16.52	0.43
18	34	17.96	19.97	0.40	14.97	17.26	0.46
20	38	20.00	22.31	0.46	16.29	18.68	0.48
22	49	21.87	24.51	0.53	16.45	18.98	0.51
24	42	23.95	27.15	0.64	16.94	19.58	0.53
26	23	25.83	29.41	0.72	17.85	20.58	0.55
28	19	28.01	31.61	0.72	18.03	21.09	0.61
30	6	29.57	33.25	0.74	19.50	22.67	0.63
32	3	31.63	35.87	0.85	18.50	21.23	0.55
34	2	34.30	40.10	1.16	20.00	22.60	0.52

II. 茗荷淵山ヒノキ人工林皆伐用材林作業収穫試験地

1. 試験地の概況

この試験地は大阪営林局新宮営林署部内、三重県熊野市五郷町字茗荷淵山国有林41林班へ小班に所在し、ヒノキ人工林の成長量ならびに収穫量について資料を収集するため、1960年10月に試験地として設定された。試験地の立地は海拔高680m、北東に面した傾斜35度の尾筋に近い平滑な斜面であり、地質は石英斑岩、土性は埴質土である。年間の降雨量は4,000mmに達し、わが国での最多雨地帯である。

2. 試験経過

試験地設定から現在までの調査経過は次のとおりであり、今回は第5回の調査に当たる。

1960年11月 試験地設定、第1回林分調査、10年生

1966年3月 第2回林分調査、15年生

1972年3月 第3回林分調査と間伐、21年生

1976年10月 第4回林分調査と間伐、26年生

1981年9月 第5回林分調査、31年生

3. 調査結果の概要

林分調査の結果をまとめ 前回調査の結果を併記したのが表-4であり、材積の成長についてまとめたのが表-5である。

調査期間の5年間に平均して胸高直径で2.0cm、樹高1.8m成長し、形状比は0.73から0.75にやや高くなった。この成長により林分密度は収量比数で0.65から0.76になり密度は0.11高くなった。

また、これを相対幹距密度でみると20.6%から17.8%となり、2.8%密度が高くなった。

材積はこの間に97.4m³/ha成長し、連年成長量は19.4m³/haであり、総生産量に対する平均成長量は11.5m³/haで、良い成長を示している。前々回と前回との間の連年成長が18.0m³/haであり、前回の平均成長量が9.9m³/haであることから31年生のこの林分の連年成長、平均成長は依然として上昇傾向にあることがうかがえる。

表-4 林 分 構 成

調 査 (林齢)	径 級 (cm)	ha あ た り			構 成 比 (%)			平 均 形 態	
		本 数	断 面 積 (m ²)	材 積 (m ³)	本数	断面積	材積	胸高直径 (標準偏差) (cm)	樹 高 (標準偏差) (m)
1976年 10月 (26)	細 径 木(6~14)	795	11.1005	63.840	44	31	30		
	小 径 木(16~24)	1,015	24.9155	148.345	56	69	70		
	計	1,810	36.0160	212.185	100	100	100	15.7(2.8)	11.4(0.9)
期間中 の枯損	細 径 木(6~14)	10	0.1005	0.470				11.3	9.0
1981年 9月 (31)	細 径 木(6~14)	340	4.9670	31.845	19	11	10		
	小 径 木(16~24)	1,435	39.1240	268.430	80	86	87		
	中 径 木(26~36)	25	1.3575	8.865	1	3	3		
	計	1,800	45.4485	309.140	100	100	100	17.7(3.1)	13.2(1.1)

表-5

林 分 の 成 長 量 と 収 穫 量

径 級 別	過去5年間の成長		間 伐 累 計		林分総収穫量	
	連年成長量 (m ³)	成 長 率 (%)	本 数	材 積 (m ³)	本 数	材 積 (m ³)
細 径 木	5.691	7.29	995	39.935	1,420	75.825
小 径 木	13.699	7.50	55	6.695	1,490	275.120
中 径 木	—	—	—	—	25	8.865
計	19.390	7.44	1,050	46.630	2,935	359.810

表-6

直 径、樹 高 の 成 長

直径階	本 数	胸 高 直 径 (cm)			樹 高 (m)		
		76 年	81 年	連年成長	76 年	81 年	連年成長
10	6	10.22	12.30	0.42	9.67	11.42	0.35
12	49	12.19	13.74	0.31	10.62	12.14	0.30
14	102	14.02	15.78	0.35	11.15	12.79	0.33
16	99	15.98	18.05	0.41	11.59	13.43	0.37
18	62	17.81	20.00	0.44	11.89	13.77	0.37
20	27	19.97	22.29	0.46	12.05	14.05	0.40
22	11	21.84	24.23	0.48	12.40	14.58	0.44
24	4	24.40	26.57	0.44	11.77	13.60	0.37

このような成長傾向を林分収穫表（紀州地方ヒノキ林）と対比すると、地位は上の中と見込まれ、本数が10%程度多いことから直径は幾分細い。

直径階ごとの直径成長、樹高成長をまとめると表-6のとおりである。

直径階と直径成長との間にはわずかに正の比例関係がみられるが、前述の白見スギ試験地でみられたような強い関係は認められない。連年成長から推定される平均的な年輪巾は全体として1.5~2.5mm巾と見られ、ほぼ適当な成長である。

ヒノキ固定試験地における林分の成長経過と冠雪害について

長谷川 敬 一

I. は じ め に

林分の成長と収穫に関する諸資料の収集を目的とした固定試験地、いわゆる収穫試験地は主要樹種ごとに配置され観測が続けられている。

この中の一つである「八ッ尾山ヒノキ収穫試験地」が昨年12月中旬の大雪のため冠雪による大被害を受け、試験の継続が困難になった。このため、40年間にわたる試験期間での成長と収穫についてその経過をたどるとともに、ヒノキの場合壮齡林以上では余り例をみない中径木林での冠雪被害であることからその態様についても取りまとめられたのでここに報告する。

なお、被害木の調査ならびにその取りまとめに当たっては当支場育林部河原造林研究室長に多大の協力をいただいたことを記して謝意を表する次第である。

II. 試験地の概要と試験の経過

この試験地は琵琶湖東部、犬上川の上流である、滋賀県多賀町萱原字八ッ尾山国有林（大津事業区92林班よ小班）にあり、面積は2.67ha（うち0.496haが標準地）である。海拔220mの西に面した傾斜20～40度の急斜面の中腹部を試験地として利用しており、古生層を基礎とした石礫壤土のB_D型土壌である。

この試験地は明治42年に植栽され、冠雪害を受けたとき74年生の林分であるが、この間における保育ならびに試験の経過は次のとおりである。

1909（明42）年3月

haあたり4500本を新植

1909（明42）年10月

haあたり450本を補植

1909（明42）年8月～1913（大2）年7月

下刈5回施行

1914（大3）年8月～1920（大9）年9月

つる切り6回施行

1929（昭4）年9月、1933（昭8）年4月

枝打ち 施行

1924（大13）年～1980（昭55）年

間伐 施行

1942（昭17）年3月～1981（昭56）年12月

試験地として林分調査、間伐あるいは枯損木の処理を行う。

1942年に試験地設定以来、標準地を対象に数年間隔で8回の定期調査を行なっている。この定期調査では標

準地内の樹木それぞれについて胸高直径、樹高、枝下高、幹級などの計測、観察を行なっている。間伐は必要ときはその選木、伐倒を行い、必要のないときは枯損木被害木の処理に留めている。

III. 試験の結果

試験の結果については部分的あるいは調査のたびごとに発表されている^{1)~5)}。今回は、これらを含め試験地設定から第8回調査に至るまでの調査結果の再集計を行なった。このことにより前出の文献1)~5)とは数値上で若干のずれを生じたが、その結果を示したのが表-1である。

この結果、40年生の樹高で表される地位指数は14.5であり、樹高成長を収穫表(紀州地方ヒノキ)と対比すると地位は中の上辺りに位置づけられる。また、収穫表に比較して本数はかなり多く残っており、材積も多く、逆に胸高直径は小さくなっている。この本数と材積を安藤⁶⁾の密度管理図上にプロットしたのが図-1であるが、林齢44年から63年にかけての約20年は収量比数が0.75以上で管理されており、林齢を加味したときその本数管理は一時期かなりの高密度施業であったことがうかがわれる。表-1の連年成長量、成長率は林齢73年でそれ以前より高くなっているが、林齢59年と63年の2度の間伐により収量比数で約0.13密度が低くなっており、この密度効果が林齢63年と73年の間の成長に現れたものと思われる。

林分内における胸高直径と樹高の関係、すなわち樹高曲線は林齢と共に移動することが知られているが、この関係を明らかにするため、胸高直径とその直径階での平均樹高をプロットしたのが図-2である。樹高曲線は林齢が進むとともに右上に移動しており、同じ胸高直径であっても対応する樹高は時によって数mの

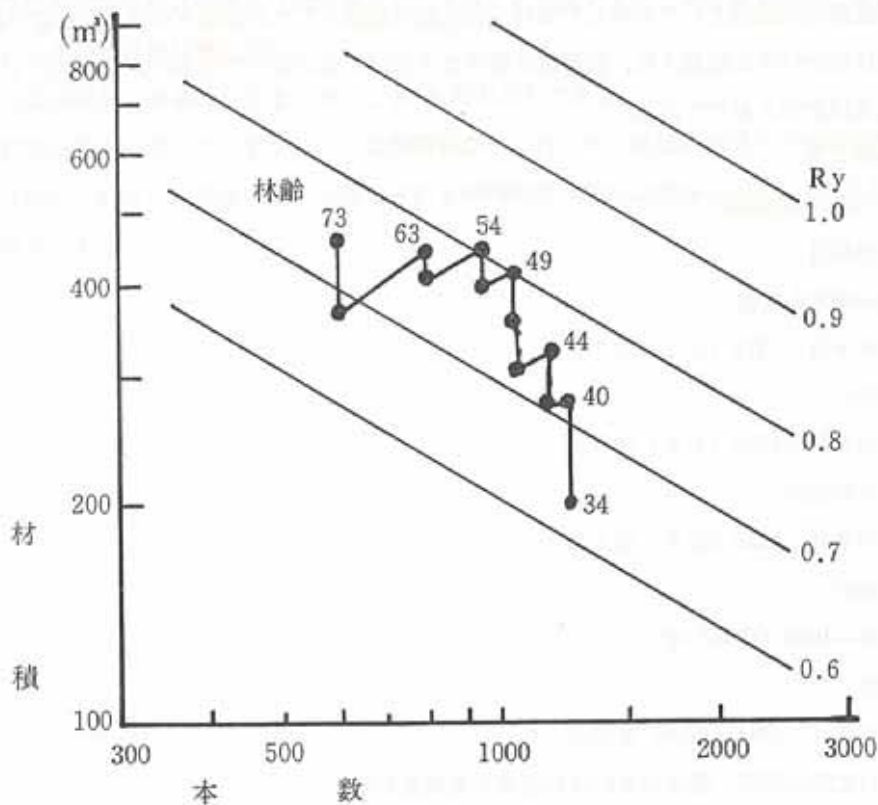


図-1 材積と本数の関係

表-1

試 験 の 結 果 と 成 長 経 過

林 齢	樹 種	間 伐 後					間 伐 木					間 伐 前			成 長 量 (率)		
		平均高	平均径	本 数	断面積	材 積	平均高	平均径	本 数	断面積	材 積	本 数	断面積	材 積	連 年	平 均	成長率
34	ヒノキ スギ 計	12.9 m	16.9 cm	1,132 本	24.98 m ²	166.82 m ³	10.4 m	11.2 cm	40 本	0.41 m ²	2.35 m ³	1,172 本	25.39 m ²	169.17 m ³	m ³	4.98 m ³	%
				74	3.64	29.73						74	3.64	29.73			
				1,206	28.62	196.55			40	0.41	2.35	1,246	29.03	198.90			
40	ヒノキ スギ 計	14.5	18.9 28.4	1,120	31.54	236.64	12.0	12.9 13.0	12	0.16	1.01	1,132	31.70	237.65	11.81	6.00	5.84
				72	4.59	40.39			2	0.03	0.17	74	4.62	40.56	1.80	1.01	5.14
				1,192	36.13	277.03			14	0.19	1.18	1,206	36.32	278.21	13.61	7.01	5.73
44	ヒノキ スギ 計	15.7	20.8 29.5	977	33.35	267.23	12.0	12.1 35.4	143	1.66	10.94	1,120	35.01	278.17	10.38	6.40	4.03
				66	4.53	40.40			6	0.60	6.59	72	5.13	46.99	1.68	1.07	3.78
				1,043	37.88	307.63			149	2.26	17.53	1,192	40.14	325.16	12.06	7.47	4.00
49	ヒノキ スギ 計	16.7	21.9 31.9	973	36.64	311.32	13.3	13.7	4	0.06	0.45	977	36.70	311.77	8.91	6.53	3.08
				66	5.24	49.21						66	5.24	49.21	1.76	1.13	3.93
				1,039	41.88	360.53			4	0.06	0.45	1,043	41.94	360.98	10.67	7.66	3.19
54	ヒノキ スギ 計	17.7	23.3 34.7	887	37.89	339.63	14.9	15.9 24.6	86	1.68	13.53	973	39.57	353.16	8.37	6.81	2.92
				62	5.82	57.82			4	0.19	1.69	66	6.01	59.51	2.06	1.23	4.07
				949	43.71	397.45			90	1.87	15.22	1,039	45.58	412.67	10.43	8.04	3.08
59	ヒノキ スギ 計	18.7	25.1 36.3	731	36.27	341.79	16.7	18.8	156	4.37	37.85	887	40.64	379.64	8.00	6.91	2.23
				62	6.60	68.37						62	6.60	68.37	2.11	1.27	3.34
				793	42.87	410.16			156	4.37	37.85	949	47.24	448.01	10.11	8.18	2.39
63	ヒノキ スギ 計	19.5	26.6 38.8	542	30.07	293.19	18.4	22.6 27.6	189	7.63	71.57	731	37.70	364.76	5.74	6.84	1.62
				58	6.82	73.30			4	0.24	2.24	62	7.06	75.54	1.79	1.30	2.49
				600	36.89	366.49			193	7.87	73.81	793	44.76	440.30	7.53	8.14	1.77
73	ヒノキ スギ 計	21.0	28.9 44.0	538	34.33	356.71	16.9	17.1	4	0.32	3.42	542	34.65	360.13	6.69	6.82	2.05
				58	8.52	99.10						58	8.52	99.10	2.58	1.50	2.99
				596	42.85	455.81			4	0.32	3.42	600	43.17	459.23	9.27	8.32	2.25

長谷川 ヒノキ固定試験地における林分成長経過と冠層害について

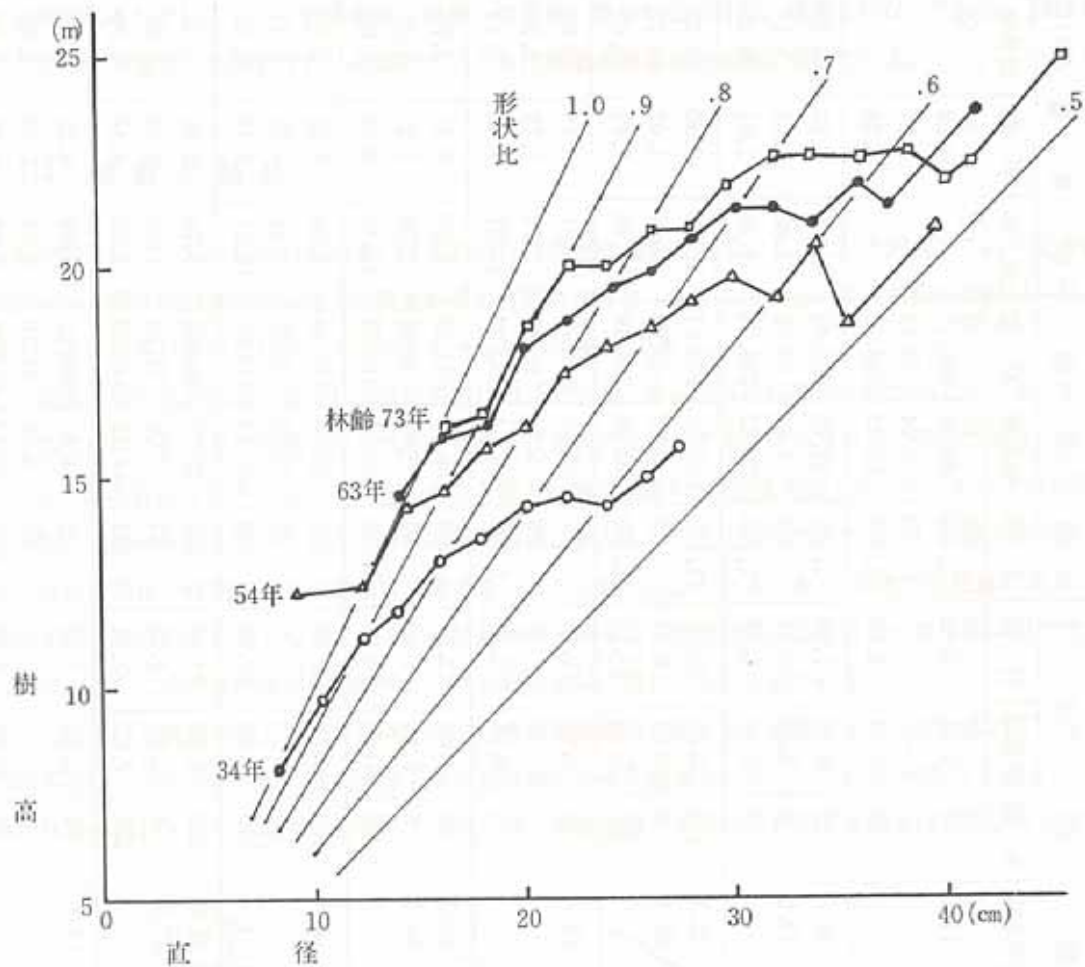


図-2 胸高直径と樹高の関係

違いが生じている。こうした樹高 (H) と胸高直径 (D), 林齢 (A) の関係は次の回帰式に表すことができる。

$$H = \frac{1}{(0.175 + 2.2037/D + 1.0525/A)^2}, \quad (R=0.986)$$

また、図-2で左下から放射状に描かれた形状比 (H/D) の線分から胸高直径と形状比の関係をみると、同じ胸高直径ならば、林齢が高くなるにしたがって形状比も高くなっており、この関係から林分内の単木の形状比を胸高直径と林齢の関数とみて、回帰式を求めると次のとおりである。

$$H/D = 1.4350 - 12.0704/A - 0.0178D, \quad (R=0.979)$$

この関係式の理解には若干の補足が必要である。それは一林分内での形状比と胸高直径とは逆比例関係にあり、形状比の範囲は林齢に関係なくほぼ一定である。ただ、形状比が変わるのは、直径分布上の位置が変わるときだけであり、分布上の相対的位置が下がったとき、形状比は上がる。上の関係式で林齢が高くなると形状比が高くなるのは、林齢が高くなることにより分布位置が相対的に下がることになり、形状比が高くなると理解するのが妥当であると思われる。

このように形状比は直径分布上の位置によって決まることをさらに押し進めて、分布上の位置とだけ形状比が関係づけられれば林齢の概念は要因からはずすことができる。この手法は胸高直径を規準化することによって可能になる。規準化値 (S_D) は平均値からの偏差を標準偏差 (S_d) 単位に変えることによって得られるから、次式が与えられる。

$$S_D = (D - \bar{D}) / S_d$$

この規準化値と形状比の関係を求めると

$$H/D = 0.793 - 0.0978 S_D, \quad (r = -0.976)$$

となり、林齢を要因からはずしてもなお、かなり高い精度の推定が可能である。

IV. 冠雪害の概要

1. 被害発生前後の気象

地元の人達によれば冠雪害は12月14日未明から日中にかけて一斉に起きている。この前後の気象を被害地とは水平距離で12km、標高差で130mの違いがあるが、彦根地方気象台のデータを中心に時間経過を追ってみる。まず大きな天気の流れは12月12日に西高東低の冬型気圧配置に移り始め、13日には冬型が次第に強まり、14日、15日は冬型が続く、16日に高気圧は移動性となって冬型がゆるんでおり、天気は13日が雨のちみぞれのち雪、14日、15日は大雪、16日が晴になっている。この間の気温は13日の午後急激に下降し、14日、15日は 0°C から 1.5°C の間を推移している。風は北西を中心とした $4 \sim 7 \text{ m/sec}$ の季節風が吹き続き、瞬間には 15 m/sec の風速のあったことが知られる。

積雪量は被害地とは水平距離で300m、標高差で50mの違いのある萱原分校の朝9時の観測によれば13日10cm、14日80cm、15日120cm、16日120cmである。

2. 周辺林分での冠雪害

犬上川本流に沿った集落付近での冠雪害はこの地域で全面的に発生しているのではなく、ある限られた小面積区域で集中的に発生しており、その面積は 0.5 ha から 3 ha 程度のものが多い。

被害地は大部分が民有林のスギ林であり、樹齢では10年～25年、樹高では $7 \sim 8 \text{ m}$ から $12 \sim 13 \text{ m}$ の林に幹折れの被害が多く出ている。そしてこれらの被害地で共通していることは斜面方向が北向ないし西向のほぼ 90° の範囲の標高が100mから300mの林分に限られていることである。

これは被害時のこの付近の気温が凍結により枝葉への着雪が最もしやすいと言われる 0°C 前後にあったと推定され、また琵琶湖を渡って来る北西風に直接さらされたことに関係があったのではないかと推察される。

3. 試験地における冠雪害

一口に冠雪害と言っても被害の形態は様々である。今回の調査ではこの形態から被害種別を次の5種類に類別した。

樹幹折損：枝下部分での折損で、採材には決定的打撃となる折損である。

樹冠内折損：樹冠内での折損だが梢端折損を除く。

表-2 被害木の形態別出現

被害形態	種別	本数	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	形状比
樹幹折損		73	28.5	20.9	0.733
樹冠内折損		28	33.2	21.8	0.657
梢端折損		8	31.9	22.3	0.699
曲り		42	25.0	20.5	0.820
転倒		29	28.0	20.9	0.746
なし		68	29.9	20.8	0.696

梢端折損；梢頭より3m以内の折損で梢頭部は再現の可能性のあるもの。

曲り；大きく湾曲した回復不可能と思われる曲り。

転倒；根元から根茎の一部と共に転倒したもので上部での折損は少ない。

標準地内のヒノキ248本を被害形態別にまとめると表-2のとおりである。スギ、ヒノキを合わせたときの被害率は66%であるが、ヒノキのみの被害率は74%と高い。

被害形態では樹幹折損が被害木の41%を占め、ついで曲りが多く、梢端折損は少ない。また、被害形態を胸高直径からみると曲りの被害は細い木で多く、樹冠内折損、梢端折損は太い木での被害が多い傾向がみられる。

冠雪害の被害形態の中で転倒はほとんど見られないのが普通であるが、この林地では約12%の被害が発生している。これは傾斜が急であり、かつ土性が石礫土であることからくる根茎構造のためと思われる。

樹高と胸高直径の比で表される形状比と被害形態による被害率との関係は図-3のとおりである。全体の

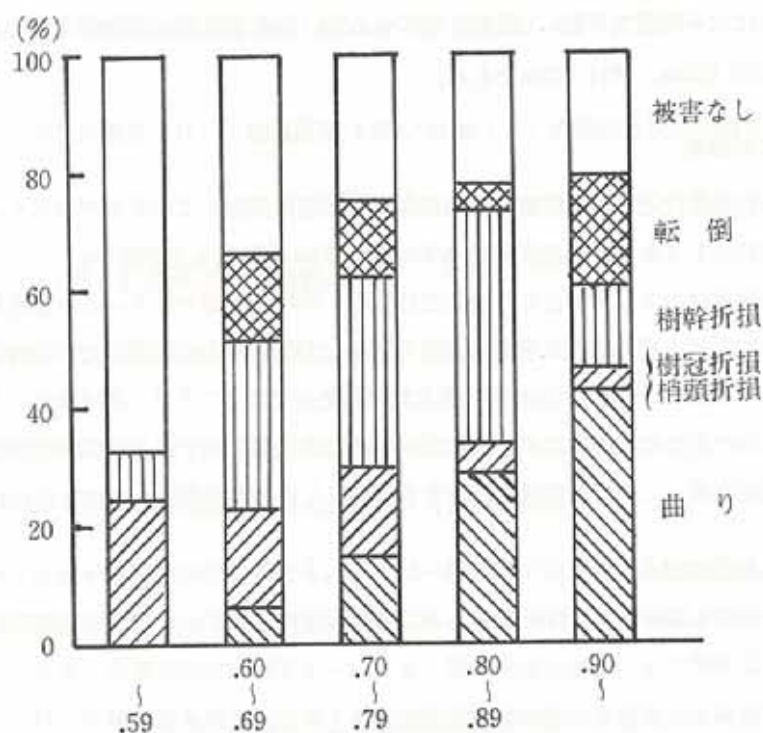


図-3 形状比と被害割合

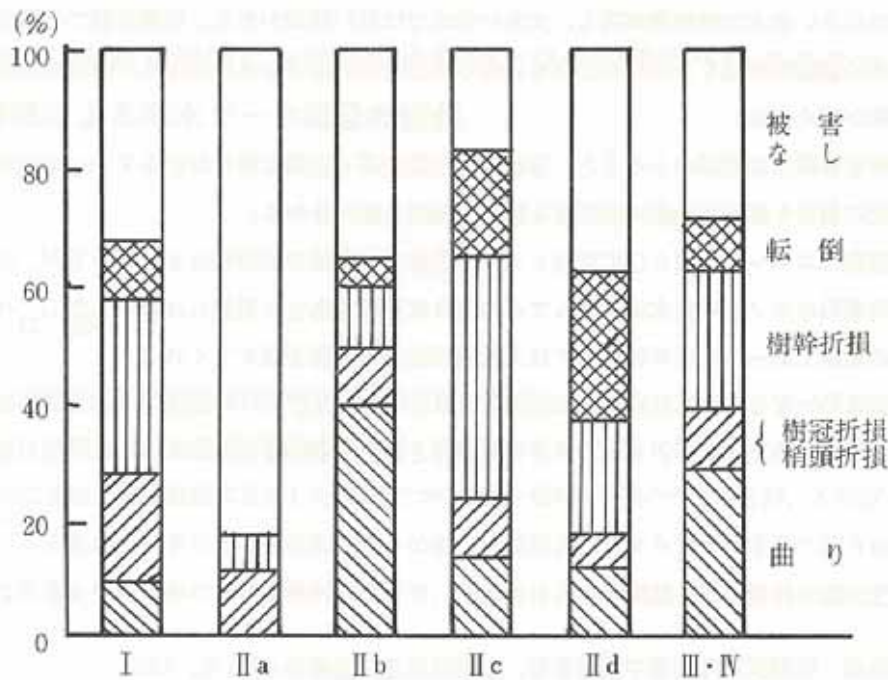


図-4 幹級と被害割合

被害率は形状比と比例関係がみられ、形状比が高いほど被害率も高くなる。同様に曲りの被害率にも形状比との間に比例関係がみられ、形状比0.9以上では被害木の50%が曲りによって占められている。反面、樹冠折損は形状比との間に逆比例の関係がみられる。出材量と市場性に影響の強い樹冠折損は、形状比の分布の中心級での被害率が高く、特に形状比0.8台では被害木の51%を占めている。

さらに、被害形態と幹級との関係を示すと図-4のとおりである。この中で幹級II-aでの被害率が異状に低いことが目立つ。幹級II-aとは樹冠が必要以上に発達し過ぎたいわゆる暴れ木であり、形状比、完満度ともに、林分の中で一番低い級であることから被害率の低いことが理解される。逆に被害率の高いのは幹級II-cである。このII-cの樹冠は側圧のため偏奇し、幹も細い級であり冠雪害には最も弱い級とみることができ、樹幹折損が被害の50%に達している。これに対し、幹も細く樹冠も小さいが偏奇のない幹級II-bでは樹冠折損は少なく、曲りの被害が多くなり、II-cとII-bでは樹冠折損と曲りが置き変わった被害率となっている。

V. 考察とまとめ

この試験地は林齢34年から中庸の間伐による施業を目的として約40年間試験を続けてきたが、今回のヒノキ中径木林としてはあまり例をみない雪害のため試験を中止することになった。この試験期間における成長過程はほぼ十分に正確なデータを収集することができた。ただ試験開始が林齢34年からであり、幼齢期から壮齢期前半にかけての成長過程が欠けているのは残念である。

冠雪害については林分内の単木データと被害形態との関係からとりまとめを行なった。この中で形状比と被害率の間には高い確度での関係がみられ、形状比が0.9以上の林木の被害率形状比が0.6以下の被害率の2倍以上であり、他の地域でみられる若齢林での被害形態と同様の傾向を示している。これを直径との関連

でみると直径の小さい林木の被害率が高く、大きい林木では低い傾向がある。被害形態では直径分布の中央部では樹幹折損の被害率が高く、分布の左方では曲りの被害率が高くなるのに対し、右方では樹冠折損、梢頭折損の被害率が高くなる。

また、被害率を幹級との関係からみると、形状高が比較的高く樹冠に偏奇があるⅡ-cの被害率が高く形状比と共に樹冠の偏奇も冠雪害発生に関係する要因であることが分かる。

このような現象はスギ・杉林ならびに若齢ヒノキ・杉林では多数の例が報告されているが、少なくとも平均径29cm、平均高21mヒノキ中径木林にあってこのような被害をあまり見聞しない。しかし、今回の試験地の冠雪害はこの径級であっても条件によっては大被害発生の可能性を教えてくれる。

こうした被害についての対策は既に多くの提案^{7)~9)}があるが、望ましい林業経営と言われる高品質材生産の施業方法とは対立する点が多い。したがってその調和と健全な森林の育成については今後の検討にまわるところが多い。

参 考 文 献

- 1) 林業試験場：収獲試験地調査中間報告書，収獲試験地調査報告；第4号，1958
- 2) 林業試験場：収獲試験地調査第2次中間報告書，収獲試験地調査報告；第14号，1963
- 3) 上野賢爾・長谷川敬一：林分の構造と成長，林試関西支場年報，No. 8, 1967
- 4) 上野賢爾・長谷川敬一：森林の構造と成長の関係解析，林試関西支場年報，No. 12, 1971
- 5) 上野賢爾・長谷川敬一：固定試験地の調査結果，林試関西支場年報，No. 22, 1981
- 6) 安藤實：密度管理，農林出版，1968
- 7) 四手井綱英：雪圧による林木の雪害，林試研報，No. 73, 1954
- 8) 松井光瑤：造林地の雪の害，日林協，1970
- 9) 藤森隆郎：豪雪，森林立地，VOL. 23, No. 2, 1981.

竜の口山南谷流域における山火事およびその跡地へのクロマツ 植栽による増水ピーク流量の変化

岸 岡 孝・阿 部 敏 夫・谷 誠

1. は じ め に

竜の口山理水試験地の南谷流域は1959年9月10日に隣接流域から延焼した山火事によってわずかに0.3haのヒノキ林分だけを残して、全流域の植生が落葉層・腐葉層を含めて完全に焼失した。この山火事による森林植生の徹底的な破壊が降雨流出に及ぼした影響については一部報告済み¹⁾²⁾であるが、この度1連続降雨ごとの増水ピーク流量が山火事による植生焼失とその跡地に植栽されたクロマツの生長に伴う林相変化によってどのような影響を受けたかについて検討したので、特に森林と洪水問題への1資料の提供という意味で報告する。

2. 流域の概況ならびに林況の変遷

竜の口山理水試験流域は旭川下流左岸の沖積平野に続く丘陵地にあり、分水界で南・北両谷に分かれ、共に扇形状で面積は22.611ha, 17.274haで南谷流域が広い。地質は北谷の北界に沿う帯状部分は石英斑岩であるが、両谷とも他はほとんど秩父古生層からなる。山腹傾斜は南谷流域よりも北谷流域がやや急である。全体的に山頂および山稜は平坦で丸味を帯びているが、北谷の石英斑岩からなる部分は鋭い山形をなしている。年平均降雨量は約1,200mmである。その年間分布は冬期に最少で、漸増して梅雨期に最大に達し、8月は時に雷雨をみるほかは一般に乾燥することが多く、9・10月は台風の影響で多雨となる。

南谷では流域の主林木であったアカマツが激甚なる虫害を受けたので1944年秋から1945年春にかけて被害木の伐採・搬出が行われた。その後放置されて自然回復を待った。1954年には極めて低い低木やササ・メダケではほぼ100%近く林地が被覆されていた。1954年10月から1957年7月までの3年間にわたって、植栽のための下刈、ヒノキ植栽、保育のための下刈が行われたが、メダケ・ネザサ等の侵入・繁茂が著しく、植栽はほとんど不成功に終わった。1955年から山火事の発生した1959年9月10日までの期間はほとんど全域でササ・広葉樹雑木類の繁茂が著しい状態であった。1959年9月10日の山火事によって約0.3haのヒノキ林分を除いて全域の植生が焼失した。火勢が強く落葉層・腐葉層まで完全に焼失したが、腐植層やササ・シダ類・雑木類の根系は生き残ったために、10月下旬ごろにはこれらの再生がみられ、完全な裸地状態は約2か月間であった。翌1960年3月にはクロマツがほぼ全域に植栽(3,000本/ha)された。やはりササ・シダ類の繁茂が著しかったので、植栽後3年間は保育のために毎年7月に下刈が行われた。クロマツの生長は良好で、樹高は1961年に0.5~1.0m, 1962年には1.0~1.5mとなり、1966年にはササを主たる下層植生とするクロマツ幼齢林に発達した。その後もクロマツの生長は順調で、1976年には樹高8.1~9.5m, 胸高直径9~11cmに達しており、林冠はほぼうっ閉している。

北谷の方も南谷同様虫害の発生があり、1945年春から1947年7月までの期間に面積ではほぼ100%の幼齢林

が伐採・搬出された。以後、伐採跡地は天然更新を期待して自然のまま放置された。そのためササの侵入が目立ち、これに既存植生であったクスギ・リュウブ・ヒサカキ・ミツバツツジ等の広葉樹種の再生やアカマツの自然侵入があり、次第にアカマツを主林木とし、これに広葉樹を交え、下層はネザサ・ススキ・コシダなどで構成された林分に移行していった。1962年と1964年には溪岸植生の伐採除去（合計0.8ha、全面積の約5%）が行われたが、1976年には北谷流域ではアカマツ・コナラを主林木とし、これに各種広葉樹を交えた天然混交林が形成されている。

3. 解析の方法

試験流域によって森林の種類あるいは森林の変化による流出または流域水収支の相違や変化を比較検討するには種々の方法³⁾が用いられているが、今回の報告においては、北谷を基準流域とみなし、南谷の増水ピーク流量を北谷の増水ピーク流量と対比させることによって、南谷に発生した山火事による植生の焼失と、その跡地に植栽されたクロマツを主林木とする林分の生長・発達に伴う林相変化が南谷の増水ピーク流量に与えた影響を検討した。

解析の対象である増水ピーク流量は、1連続降雨による流出ハイドログラフの最高点の水位に対する流量から、増水開始時における水位に対する流量を差し引いたものと定義し、これを流域面積で除して水高(mm)で示した。

ところで、本報告において用いた解析法には次のような問題点がある。すなわち、本報告では1955年から1978年までの24年間という長期間の増水ピーク流量の時系列的変化を解析の対象としているために、基準にとった北谷流域の植生状態は1955年当時の広葉樹を交えたアカマツ幼齢林から1978年現在のアカマツ・コナラを主とした針広混交壮齢林へと経時的に生長・発達し、この間24年分だけ林相および微弱ながらも林地土壌が変化していることである。

しかし、この点を見捨てることは、ほかの誤差に比べれば小さいものとみて差し支えないであろう。特に山火事という急激な林相変化の影響というものに焦点を合わせた場合には、いわゆる基準（対象）流域法という基準期間は本解析では4年8か月、処理期間は4か月であり、基準期間における南・北谷両流域の、また処理期間の北谷流域（基準流域）の森林の成長に基づく林相の自然変化を見捨てることは十分に容認されるであろう。

4. 結果と考察

図-1は山火事が発生した時点を含む、1955年から1978年までの24年間の雨量・流量観測資料から、1連続降雨によって顕著な増水を示したハイドログラフを摘出して、増水ピーク流量を求め、北谷の増水ピーク流量に対する南谷の増水ピーク流量の比（増水ピーク流量比）を計算した結果を時系列的に示したものである。この図によると、増水ピーク流量比は降雨の内容や増水時の流域の乾湿状態などの影響、さらには植生状態の変化による影響などによると考えられるかなり大きな変動を示している。しかしながら次のようなことがいえるであろう。1955年から山火事までの期間と比較して、山火事直後の裸地状態の数か月間においては増水ピーク流量比は急激に増大している。植生の自然侵入や植栽によって裸地状態が消滅した1960年から

岸岡・阿部・谷 竜の口山南谷流域における山火事およびその跡地へのクロマツ植栽による
増水ピーク流量の変化

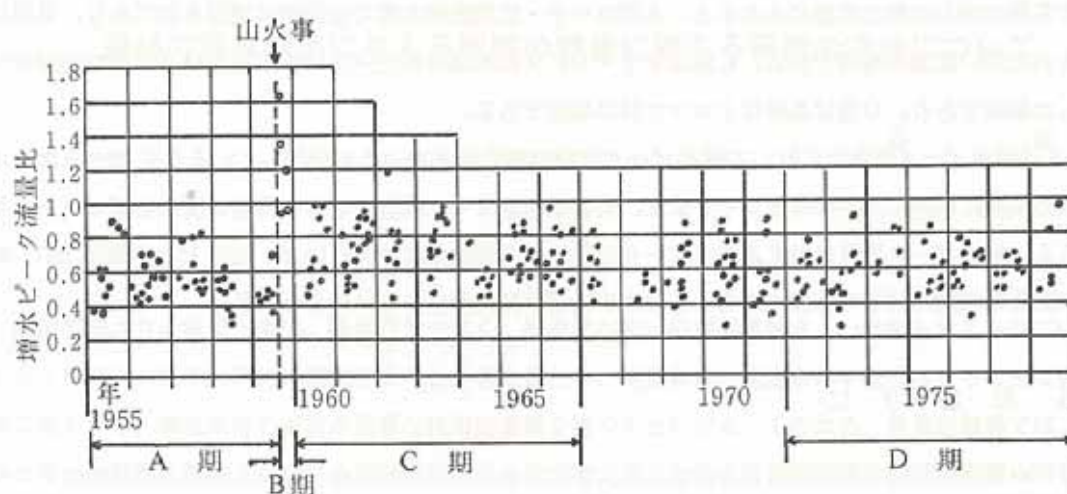


図-1 増水ピーク流量比の時系列的変化

の数期間は、増水ピーク流量比は山火事以前の値にかなり近づいているが、それでも平均的にみて山火事以前よりは大きな値を示している。さらに南谷が良好なクロマツ林の状態であるとみなされる1978年までの数年間は山火事以前の期間とほぼ同程度の増水ピーク流量比を示しているようである。そこで1955年から山火事（1959年9月10日）の前日までの期間をA期、山火事当日から同年12月末までの期間をB期、1960年から1966年までをC期、1972年から1978年までをD期と区分して、各期における増水ピーク流量比についてその平均と標準偏差を求めると次のとおりである。

	平均	標準偏差	(平均の比較)
A 期:	0.57	0.13	(1)
B 期:	1.23(0.96~1.63)	—	(2.16)
C 期:	0.73	0.17	(1.28)
D 期:	0.60	0.14	(1.05)

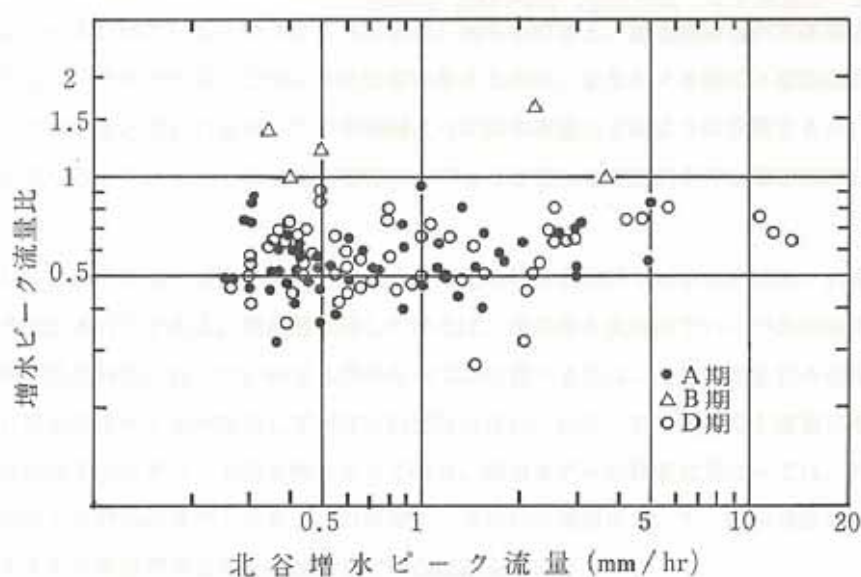


図-2 増水ピーク流量比と北谷増水ピーク流量の関係

ここで各期の南谷の植生状態にふれると、A期はササ・広葉樹雑木類で全面的に被覆されており、B期は裸地とそれに近い状態の時期である。C期はササ・シダ・雑木類の再生→クロマツ植栽→クロマツ幼齢林へと変移した期間であり、D期は良好なクロマツ林の期間である。

図-2は増水ピーク流量比に対して増水ピーク流量の規模がどのように影響しているかを調べるために、両対数方眼紙に横軸に北谷の増水ピーク流量、縦軸に増水ピーク流量比をとり両者の関係をプロットしたものである。増水ピーク流量に対する増水ピーク流量比の変動はかなり大きい、増水ピーク流量比は増水ピーク流量の増加に対してはほぼ一定もしくはやや微増の傾向があるといえそうである。

5. お わ り に

竜の口山理水試験地の観測資料をもとに、山火事による森林植生の完全な焼失およびその跡地のクロマツ植栽による植生回復に伴って増水ピーク流量がいかに変化したかを検討した。その結果によれば、皆伐跡地に、主として自然侵入によって成立した広葉樹雑木林が、成立開始時から10数年後に発生した山火事によって完全に焼失した結果、増水ピーク流量は山火事前と比べて平均2.16倍(1.68~2.86倍)に増大した。しかるに山火事跡地へのクロマツ植栽によってその増加量は急激に低下し、クロマツ植栽後数年間の増水ピーク流量は山火事前の1.28倍(平均)となった。植栽後約15年ほど経過して良好なクロマツ林となった時点では、その増水ピーク流量は山火事直後に比べてほぼ半減している。

参 考 文 献

- 1) 藤枝基久・岸岡 孝・阿部敏夫：竜の口山南谷流域における山火事が流出におよぼす影響，日林誌，61，184~186 (1979)
- 2) 藤枝基久・岸岡 孝・阿部敏夫：竜の口山南谷流域における山火事が減水曲線におよぼす影響，日林関西支講，30，195~197 (1979)
- 3) 中野秀章：森林水文学，共立出版，159~160，(1973)

森林の降水流出に与える影響の評価に関する研究の方法について

谷 誠

1. はじめに

山地流域よりの流出水量は、洪水量が少なく、低水量が多いのが通常望ましい状態と考えられている。このような流出水量を人為的に調節することを考えるとき、地質条件、地形条件を変化させることは極めて困難であるから、植生条件の選択が重要な実用的意義を持つことになる。そのため、林業試験場では、長年にわたり、森林理水試験として、小流域内の森林を伐採して流出特性の変化を調べる研究を行ってきた。その結果、森林を伐採すると、洪水流量、低水流量はいずれも増加することが分かった^{1)~3)}。そこで次の課題として、流域内の森林植生をどのように導いてやれば、望ましいと考えられる状態に近づくかという問題に対する答えを用意してゆかねばならない。そのためには、いくつかの森林施業を小流域内で実際に行なってみて、流出の変化を調べるのが勿論大切である。しかしながら、このような試験を行うには長期間を要し、流域内の施業に多額の経費を要するから、今後、各種の施業試験を数多く実施するのは困難である。そのため、従来、森林の流出に与える影響の評価法として用いられてきた統計的比較の方法に必要な多くのデータを集めるのは容易ではない。むしろ、少数の貴重な試験結果のもつ特徴を降水の流出に関する理論を媒介として普遍化することが重要であると考えられる。今後は、森林施業が降水の流出経路の諸条件の一部の変化であるということに視点を据え、施業がいかなる物理機構の変化を通じて流出特性を変化させるのかを明らかにすることも大切であろう。

一方、降水が溪流へ流出するに至るまでのさまざまな流出経路のもつ性質については、従来からそれぞれの経路について検討がなされてきた。例えば、降水の樹冠遮断、蒸発散、土壌の浸透能等について知見が得られている。そこで問題点は、これらの流出経路における個別の知識を、流域よりの流出の特性と結びつけるにはどのようにすればよいかということにある。例を挙げると、樹冠遮断量が常緑樹と落葉樹で冬季に差があるとすれば、それが流出にどのように影響を与えるのか、またヒノキ林に下層植生が乏しいことは表面流の発生につながると思われるが、これが流域よりの洪水流量とどのように関係するか、さらに林地と草地で浸透能が異なるとすれば、それは流出特性のどのような差として現れるのか等を検討しなければならない。

さて、これらの降水の流出経路の特性を流域の流出量の特性と結びつけるためには、前者を評価し得る流出モデルの作成が不可欠である。浸透能に関していえば、浸透能を流域内でいくつかの場所で測定したとして、その情報が流出特性に対していかなる関係をもつかを調べるには、その情報を組み込んで降水量から流出量を計算し得る流出モデルが存在していなければならない。ただ、この例からも容易に推測し得るように、流域内の物理的諸条件はすべて不均質性をもっており、流出モデルの作成に当たっては、これをどのように単純化、平均化するのが難問となる。この単純化、平均化の過程において、流出経路の情報を活かすという性質を喪失する可能性があることに注意しなければならない。

流出の観点からみて望ましい植生状態を得るためには、単に、山地小流域において流域内に各種施業を行

って流出の変化を観測するだけでなく、上述のように流出経路の特性を流域の流出量の特性に結びつける研究も併せて行う必要がある。本小論においては、この観点から、流出に関する研究の現況をまとめるとともに、今後の研究の方向性を展望することにした。

2. 流出モデルの性格

流出モデルが降水の流出経路と流域流出量とを結びつける上で必要であることは、既に述べたところである。しかしながら、流出モデルというものは、一般に降水量から流出量を計算し得るという共通した属性をもつ数式群であるに過ぎず、必ずしも上記の目的に沿わないモデルも存在する。むしろ、流出経路の情報を十分に活かし得るモデルは未だ完成していないといった方が適当であろう。流出モデルは、上記の目的よりはむしろ、問題とする地点の流出量を降水量から予測するという目的に沿って発展してきたのである。したがって、降水と流出の応答関係そのものの再現に主たる努力が傾けられ、この目的に沿ったモデルはほぼ完成の域に達している。ただ、このような応答関係の再現モデルでは、流出経路のもつ特性は漠然と表現されている場合もあるが、流出経路の情報を流出特性に活かすことができないという欠点をもつ。これに対し、経路の特性の流出に与える影響を明らかにすることを目的とするモデルも作成されてきている。とはいえ、現在のところ、その目的を十分に満たすモデルは完成されていないようである。そこで本節では、菅原のタンクモデル⁴⁾及び高棉の雨水流モデル⁵⁾を上記の流出モデルの代表として取り上げ、それぞれの目的、及び性格について考えてみることにする。

1) タンクモデル

タンクモデルの一例は、図-1に示すようであって、雨が上から入れられ、側壁の穴から流れ出る量を合計すると流域よりの流出量が得られる。タンクの底につけられた穴は浸透を表し、より下方のタンクへの入力を与える。穴の横に書かれた数字は比例係数であって、流出量、浸透量は穴から水面までの高さにこの比例係数をかけたものになる。なお、流域よりの実流出量は、タンクモデルの出力が水高(mm)で表されるので、これに流域面積をかけなければならない。実際にタンクモデルを流出データに適用するには、まず、タンクの数、穴の高さや比例係数の値、いわゆるパラメータ群の値を、流出観測値に合うように試算を繰り返して決めてやる。ある期間のデータによって、一旦パラメータ値を決めると、そのモデルに別の期間の雨を入れて計算した流出量は、植生等の条件の変化がなければ実測値に良く合うことが分かっている。タンクモデルの優秀性は、試算を繰り返しても流出が再現できない場合、欠陥がむしろ降水量か流出量の観測値の方に存在する可能性が高いという点に如実に現れている。

けれども、タンクモデルの構造やパラメータ群の値が流域内の流出経路の特性をどのように表しているのかは不明である。したがって流出経路の特性

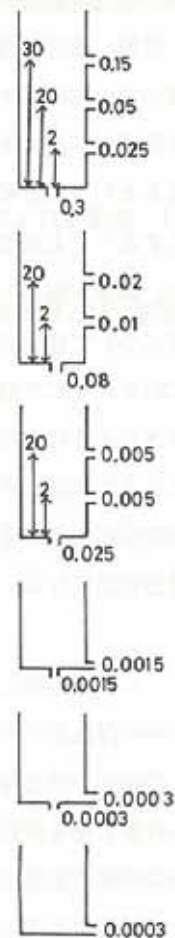


図-1 タンクモデルの一例
(小流域の例、(注2)
参照)

を流出特性と結びつけることに利用できないのである。この点は森林植生の流出に与える影響を考える目的からは欠点であるが、タンクモデルの目的意識からみると何ら欠点ではない。つまり、流出を降水より予測することがタンクモデルの掲げる目的であり、このモデルはまさにこの目的にかなっているのである。最も良くできたタンクモデルは、流域の流出特性の簡単な表現方法の一つといえる。なぜならタンクモデルは実際の流域とほぼ等価な応答特性を示すからである。流出径路のもつ情報を使わないで充分応答特性を表すモデルが作られ得るということから、流出径路のミクロな情報を軽視する傾向も生まれる。菅原は、「ある種のミクロの実験は、流域の大局的性質には役に立たないと考える。」¹⁰⁾とさえ述べているが、流出予測すなわち流出量をより良く合わせるという彼の目的に照らせば、この言い方も納得できるのである。これに対し、我々の目的は、流出径路の情報を活かすことにあるから、ミクロな研究に意義があるのはいうまでもない^(注1)。我々のモデル作成の目的意識、及び作成されたモデルの性格はタンクモデルと異なるものでなければならないということになる。にもかかわらず、安定した流出再現能力をもつタンクモデルは、森林植生の流出特性に与える影響を判定するのに有効である場合もある。まず森林状態の流域の流出に合うようにタンクモデルのパラメータの値を決める。このモデルに森林伐採後の降水量を入れて実測値と比較すれば、伐採による変化量を知ることができる^(注2)。ただ、このような適用によっては、伐採したことによる流出特性の変化を知り得るのみであって、伐採と流出特性の関係を媒介する流出径路の条件の変化、例えば、蒸発散量の変化、土壌表面状態の変化等を評価するのは困難である。とはいえ、タンクモデルの一利用法としてこのような解析も試みられて良いと思われる。

2) 雨水流モデル

雨水流モデルはその名のとおりに、雨水の運動に注目したモデルである。山地流域を観察すると、溪流は山腹斜面よりの流出水を集め、山腹斜面上の流れは雨水を集めて流れている。その流れは曲がりくねって複雑であるが、雨水流モデルでは、水路における水の流れを記述する水理学を応用できると考える。このような応用によって流出現象を説明できれば、降雨の強度や継続時間等の降雨条件および、斜面の土壌状態や斜面の勾配、長さ等の流域の諸物理条件の流出に与える影響が判明すると期待される。雨水流モデルはこの期待のもとに作られてきた^{7,8)}。

このような考え方は、まず末石⁷⁾によって提唱されたものであるが、これを雨水流モデルとして確立したのは高棹⁸⁾である。高棹のモデルでは、洪水について、その流出する水路として、山腹斜面上の林地表層（A層または活性層と呼ばれる）が重視される（図-2参照）。実際の流出径路としては溪流河道も考える必要があるようにも思われるが、河道での流れは速やかであるので、流出波形（ハイドログラフ）の変形効果が小さいとして、特に山腹斜面表層が重要と考えられている。さて、表層を水路として、水の流れを水理学的に扱うには、次の2つの条件が満たされねばならない。第1に、供給された降雨の総量は水路の下流端から流出した流量の総量に等しいこと。第2に、流出する速さが何らかの運動則によって記述されること。第1の条件は水収支条件または連続条件と呼ばれるものである。しかるに、一連続降雨における降雨の総量と洪水流出の総量とは一般に等しくなく、両者の間に水収支条件は成立しない。降雨の一部のみが流出するわけである。そこで、雨水流モデルでは、表層より下層の土壌の浸透能に等しい量が失われるものとし、水路へ供給される降雨量は、この損失量を実降雨量から差し引いた過剰降雨量であると考えられるわけである。このようにして、水収支条件が満たされることを前提とすれば、第2の条件である運動則の成立に基づいて、

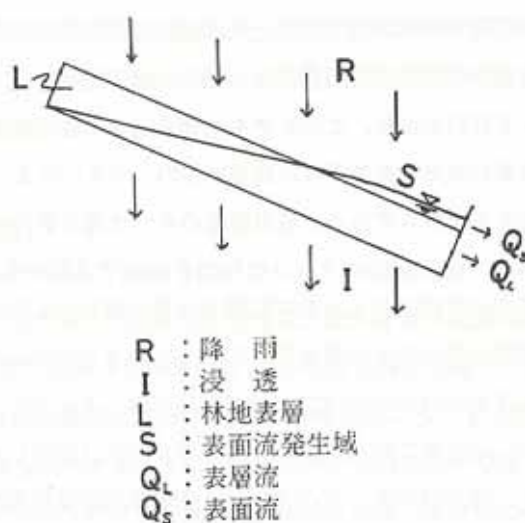


図-2 雨 水 流 モ デ ル

過剰降雨を供給されつつ流下する流れの特性を明らかにすることができる。さてこの流れの特性の議論においては、高樺は、表層内の浸透流を考えているだけではなく、表層が飽和したときに発生する表面流についても言及している。両者では、成立する運動則が異なっており、表層浸透流にはダルシー則が、表面流にはマニング則が適用される。表面流は、表層流が集中する谷底部にまず生じ、降雨継続とともに尾根方向へその発生域が広がってゆく。ところで降雨強度が倍になったとき流出強度が倍以上になるような現象は、しばしば観測される。このような流出現象の非線形性は、表面流の速さがマニング則に基づき一定ではないということ（飽和浸透流である表層流の速さは一定である）、及び表面流の発生域が変動することによって生じることが説明される^(註3)。

こうして、雨水流モデルは、洪水流を水理学的に説明することに成功している。この一般的な説明に基づき、個別の流出データの特徴を表示するには、その流出データの得られた流域の表層の厚さ、表層流の速さにかかわる透水係数、表面流の速さにかかわる粗度等の物理量の値を知らねばならない。これらの物理量の値は流域内において複雑に分布しているから、実際に測定して得られる量から推定することはかなり困難である。そこで流出データを再現するように試算によってこれらの量の代表値を決めることがよく行われる。とはいうものの、試算によって決定した代表値と、流出径路をミクロに実測して得た局所的な値との間に何らかの関係があることが、我々の目的、すなわち森林植生等の流出径路の条件の流出特性に与える影響の解明という目的からみて、望ましいことはいうまでもない。少なくとも、その代表値が流出径路の状況と対応するものでなくては、流出モデル自体が我々の目的に沿わないという結果となる。このような点に関する検討は未だ充分に行われたとはいえず、今後の課題となっている。

以上に述べた高樺のモデルは、洪水を対象としたものであり、そのため林地表層より下層の土壌は流出径路として取り上げられていなかった。しかし、この下層へ入った洪水にとっての損失は低水にとっての供給源となる。流出径路における雨水の運動として流出現象を捉えるのが、雨水流モデルの基本的姿勢であるから、低水についてもこの姿勢で説明できるようなモデルへと発展すべきであろう。

3) ま と め

本節ではタンクモデルと雨水流モデルの目的と性格について考えてきた。両者が性格を異にし、その違いがそもそもの目的の違いに起因するということを述べたつもりである。この点についてまとめておこう。タンクモデルは、流域よりの流出量を良く合わせることを目的としており、その目的を十分に満たしている。しかしながら、流出経路の情報を流域流出量の特性と結びつけることはできなかった。一方、雨水流モデルは、流出経路の流出特性に与える影響を明らかにする目的を掲げている。けれども、流出経路の複雑性を反映して、ミクロに測定して得られる物理量の値と流域を代表する値との対応が必ずしも明瞭でない。また、低水に対する検討が遅れている。そのため、所期の目的を充分満たすに至っていない。そして、この残された問題点が森林植生条件の流出へ与える影響を考える上で重要なのである。

3. 流出経路の把握方法と流出モデル

流出経路の特性を流域よりの流出量の特性に結びつけるためには、流出モデルが媒介とされねばならないことは、はじめに述べたとおりである。けれども、流出モデルは実際の流出経路の複雑さを単純化、平均化して扱っている。この単純化、平均化の方法は、流出経路の特徴をどのように把握するかによって、複数あり得る。したがって、従来の雨水流モデルが洪水流の流出特性を良く説明するとしても、このモデルの単純化、平均化が妥当性をもつ唯一の方法であるとはいえない。とりわけ、低水時の水移動を含めて考えると、経路の単純化、平均化手法は、既存の雨水流モデルのそれを前提とするかどうかでは意見が分かれるように思われる。本節では、洪水時と低水時双方の水移動を考えたときの、経路の取り扱いについて検討してみよう。

一連続降雨における降雨総量と洪水総量は一般に等しくなく、降雨は低水時の流出及び蒸発散にも配分される。高樺の雨水流モデルでは、林地表層より下層の土壌へ浸透する量が低水及び蒸発散に向けられると考えられている。実際の山腹斜面では土壌の透水性が不均質であって、降雨のほとんど全部が浸透してしまう場所もあれば、逆にほとんど浸透しない場所もある。このような不均質性を認めた上で、なおかつ、下層の土壌の平均的な透水性が降雨の配分を支配すると、このモデルでは考える。表層においては、この浸透量

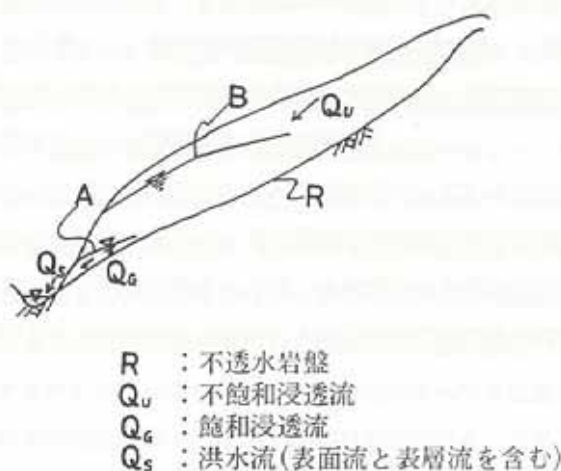


図-3 山腹斜面の土壌内の水移動の概念図
 (低水時(A)と洪水時(B)の状態が土壌内の側方への水移動によって交替する。)

を実降雨量から差し引いた過剰降雨量が供給され、それを受けて発生する側方への流れが洪水を形成すると考えるわけである。

一方、Hewlett¹⁰⁾やDunne¹¹⁾は、観測に基づき、洪水はまず溪流近傍から発生し、降雨規模の拡大とともに洪水の発生する領域が拡大すると指摘している。この観察結果にしたがえば、降雨が洪水になるのか土壤に浸透して洪水にならないかを支配するのは、土壤の透水性というよりも、むしろ土壤が既に飽和しているかどうかであるということになる。このような飽和域は、溪流から遠い地点でも部分的には飛地のように発生するであろうが、平均的にみれば、溪流近傍から尾根方向へ拡大する傾向があると考えられる。そこで、溪流に近い部分でまず飽和帯が生じる原因を考えると、それは、常時の土壤内の側方への水移動によるためであるといえる。したがって、林地表層よりも下層の土壤の側方への水移動が洪水発生域の変動と密接に関係しているということになる(図-3参照)。この洪水流と下層土壤の水移動の関係は、高棹のモデルにおける洪水流を構成する表面流と表層流の関係に対応するものであるといえる。

以上の検討から、従来の雨水流モデルは、洪水を対象とするという性格上、下層土壤における側方への水移動の影響を無視するという単純化を行なっていることがわかる。流出モデルの対象を低水時の流出を含む全流出に拡大すれば、下層土壤における側方への水移動を無視するわけにはいかない。そして、上記の洪水発生域の観察事実から、土壤内の水移動が洪水に対しても影響すると考えた方が自然であるように思われる。そこで、全流出過程を対象とする流出モデルは、土壤内における側方への水移動を扱え、かつその水移動が洪水に与える影響について検討できるものであるべきであろう。

4. 土壤内の水移動の理論

前節において、現地の観測に基づき、洪水流といえども低水時の水移動の影響をも受けること、そのため降水の全流出過程を扱えることのできる流出モデルの作成が望まれることを述べた。このようなモデルは未完成であるが、そこでは原則として飽和不飽和浸透流の理論が運動則として用いられると考えられる。この理論における基礎式は確定しているが、流出モデルに応用するには解決すべき問題も多い(註4)。本節では、この点について述べることにする(註11)~(註14)。

土壤内の水移動は、パイプ状の水みちでの流れ(註5)等を除き、飽和不飽和両領域を通じてダルシーの法則によって記述される。すなわち、単位面積当たりの流量は、圧力ポテンシャルと重力ポテンシャルの和である水理ポテンシャルの勾配と透水係数の積で表される。さて、問題点は不飽和領域における水移動の方に存在する。すなわち、圧力ポテンシャルや透水係数が土壤水分の飽和度の関数であって、飽和領域のように簡単に扱えないという難点がある。そのため、これらの土壤物理条件の水移動の状況に与える影響が大変複雑なものになる。個々の土壤毎に、水移動の状況すなわち、水面形や流れの速さ等の特徴が複雑に変化するわけであって、この点に関する整理が充分に行われていないのが現状である。このような水移動の状況に関する整理が行われていないのに、土壤物理条件と流域よりの流出量の特性とを直ちに結びつけるのは妥当ではない。その結びつけのための流出モデルの作成の機が熟していないというべきであろう。

そのような現況に対して、最近、土壤内の水移動の状況が、土壤物理条件を始め、降雨条件等によってどのような影響を受けるかという点については、飽和不飽和浸透流の理論に基づく研究が為され始めている。すなわち、表層土内に発生して上昇する地下水面の時間変化¹⁵⁾、低水時の流出の減衰過程^{16)・17)}等の現象に対

して、土壌物理等の諸条件がいかなる役割をもつかが明らかにされてきた。そのような研究の積み重ねの中から、低水、洪水を含む降水の全流出過程における水移動を扱う流出モデルが作成されてくると期待される。

5. 森林理水試験における研究方向

今まで述べてきたことから、森林理水試験を行なっている筆者らの為すべきことは非常に多い。第一に流域内の流出径路における森林植生、土壌等の特性についての情報を観測によって集めることが大切である。そして、第二にこの情報を流域よりの流出の特性に結びつけることを試みてゆかねばならない。しかるに、そのための作業に充分ふさわしい流出モデルは完成されていない。したがって、このようなモデルの作成に向かって努力すると同時に、差し当たり従来のモデルの長所を活かす研究も進めてゆかねばならない。今までに述べてきたことから、我々の目的に沿ったタンクモデル、雨水流モデルの活かし方を次に考えてみよう。

まず、タンクモデルであるが、このモデルは降水と流出の応答関係の特性を良く再現するから、それを利用して、森林伐採によって洪水ピークや低水量が何割ぐらい変化したのかを知ることができる。ただし、流出径路の細部を探って、この変化の原因を考えるのには不向きではある。

雨水流モデルは、洪水流の発生域の変動する場合には問題点を残すが、その発生域が変動しない特別の条件が成立する場合には、洪水流の流出径路のもつ情報を流出特性に結びつける上で有用である。例えば、降雨継続時間の短い小洪水では、洪水流の発生域は限定され、この場合に該当する。この他に流出径路が変動しないと考えられる条件は、洪水流の発生域が流域全体に広がった場合である。このような条件は一連続降雨における降雨総量と洪水総量がほぼ等しいような特別の場合にはほぼ成立するとみなされる。先に述べた降雨継続時間の短い場合では、洪水流の発生域が固定されているとはいえ、それがどのように流域内に分布するかについて考慮する必要がある。これに対し、発生域が流域全体に広がった場合にはその必要がない。それ故、発生域の分布状況や変動の複雑な影響が緩和され、運動則の特性が流出特性として純粋に現れると考えられる。一般に、このような条件はごくまれにしか成立しないが、仮に成立したと考えられる流出データがあれば、洪水発生域の流出の運動則の特性を知る上で極めて重要な解析対象となる。なぜならここで特性の見出された運動則は、一般の洪水に対しても、洪水流の発生域の内部に限定すれば適用できると考えられるからである。

このような雨水流モデルの応用から、洪水流の運動特性が判明すれば、その特性と土壌表面の状況を対比することにより、流出特性に流出径路の情報を活かすことができる。理想的に言えば落葉の堆積状況と洪水伝播の速さとの関係等が判明することが期待されるのである。

なお、筆者らは、竜の口山森林理水試験地の南谷、北谷で行なっている流出観測のデータに対して、上記の方法による研究を進めている。現在のところ、累加雨量と累加洪水量がほぼ等しいような洪水データの雨水流モデルによる解析を行なった¹⁰⁾段階である。今後、山火事による植生消失等について、タンクモデル、雨水流モデル双方に基づく解析を進めたい。山火事による植生の消失が洪水流の速さをどのように変えたか等、検討すべき課題は多い。

6. お わ り に

本小論では、森林の降水流出に与える影響を評価するには、流出経路の物理的諸条件の特性を流域よりの流出量の特性と結びつけることが必要であるとの立場から、そのための媒介となる流出モデルの性格について述べ、問題点について考えた。そして、今後、土壌層全体の水移動を扱えるような流出モデルを作成すべきであるとともに、従来の流出モデルをその問題点を踏まえた上で利用してゆけば良いことを提案した。今後の森林の影響の評価に関する研究についての議論を行う上で、参考になることを願うものである。

最後に、有益な助言を頂いた遠藤泰造支場長と岸岡孝防災研究室長に謝意を表す。

注

- (注1) 日野¹⁹⁾は、「マクロな水文現象とミクロな水文機構との関連を具体的に探る方向を、私は Physical Hydrology と呼ぶことにしたい。」と述べ、今後の水文学の進む方向性を指摘している。日野、山田ら²⁰⁾、池淵ら²¹⁾は土木工学分野の研究者であるが、次第に小流域内部のミクロな観測に関心を示してきており、今後は林学分野と研究が重なってくるものと推測される。
- (注2) 菅原は、林業試験場の宝川流域の流出解析を行なった経験から、小流域の流出解析は難しいとの印象をもったようである²²⁾。これは、宝川が小流域としてはかなり広く(1906ha)、かつ標高差が1000m以上あって降水量のばらつきが大きいことが主たる原因となっているらしい。これに対し、鈴木ら²³⁾は、京都大学の桐生試験地にタンクモデルを適用し、毎時の流出データの3年分を連続して再現することに成功している(図-1はそのタンクモデルである)。桐生は6haの小流域で降水量のばらつきが小さいために、このような再現結果が得られたものである。したがって、本文で述べた分野の研究に対して、降水量のばらつきに注意すれば、小流域にもタンクモデルが適用可能であると思われる。
- (注3) もっとも、小出水の場合においても、流域内斜面に存在するガリー等の裸地面では表面流が生じるから、表層流成分のみで構成されるような流出は考えられない。洪水は常に非線形性をもつのである²⁴⁾。そこで雨水流モデルがタンクモデルと同様の流出予測という目的に対して用いられる場合は、表層流を考えず単に表面流のみで流出計算を行い粗度の最適値を探す方法もよく試みられる²⁵⁾。
- (注4) 土壌内の水の動きについては、電子計算機の発展により、数値計算でシミュレートできるようになってきた²⁶⁾。しかし、降水と流出との応答関係を再現するモデルはできていない。従来の雨水流モデルにおいてマニング則等の運動則の果たす役割を飽和不飽和浸透流の理論は果たすに至っていないといえよう。
- (注5) 土壌内には、確かにパイプ状の大きな孔隙が存在する。現在のところ、このようなパイプでの水の動きを理論的に評価することはできない。そこで、まず本文に示すように飽和、不飽和浸透理論で流出を考えて、どうしてもパイプ流を問題としなければならないのはどういうときかを逆に推定してゆく他はアプローチの方法がないように思われる。

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 中野秀章：森林と水資源，水利科学16-3，26～58，1972
- 3) A.R.Hibbert: Forest treatment effects on water yield, International Symposium on Forest Hydrology, 527～543, 1967, Pergamon Press
- 4) 菅原正巳：流出解析法，257 pp., 1972, 共立出版
- 5) 金丸昭治・高棟琢馬：水文学，223 pp., 1975, 朝倉書店
- 6) 菅原正巳：統・流出解析法，46，1979，共立出版
- 7) 岩垣雄一・末石富太郎：横から一様な流入のある開水路の不定流について——雨水の流出現象に関する水理学的研究（第1報），土木学会誌39-11，575～583，1954
- 8) 岩垣雄一・高棟琢馬：降雨および流域特性が流出関係に及ぼす効果について，京大防災研究所創立5周年記念論文集，191～200，1956
- 9) J.D. Hewlett: Principles of forest hydrology, 93～133, 1969, The University of Georgia Press, Athens
- 10) T. Dunne, D.B. Black: An experimental investigation of runoff production in permeable soils, Wat. Resour. Res. 6-2, 478-490, 1970
- 11) M.J. Kirkby(ed.): Hillslope Hydrology, 389 pp., 1979, John Willy & Sons
- 12) 樫根 勇：水文学，245-257，1980，大明堂
- 13) 同上，139～143
- 14) 同上，171～174
- 15) 谷 誠：一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性，日本林学会誌64-11，1982
- 16) 瀬口昌平・田中宏平・戸原義男・四ヶ所四男美：基底流出に関する基礎的研究（Ⅱ）基底流出現象の実験的検討，九大農学芸誌32-2・3，51～64，1977
- 17) 鈴木雅一：山地小流域の基底流出低減特性——飽和・不飽和浸透流モデルによる検討——，日本林学会誌投稿中
- 18) 谷 誠・阿部敏夫・岸岡 孝：雨量がすべて直接流出となる条件での流出解析，第93回日本林学会大会発表論文集，1982
- 19) 日野幹雄：最近の流出解析モデルについての二三の批判，第25回水理講演会論文集，257～262，1981
- 20) 山田 正・日野幹雄・藤田光一：小試験地における雨水の流出機構に関する研究，第26回水理講演会論文集，229～236，1982
- 21) 池淵周一・丹下 勲・田中 正・古藤田一雄：八王寺流出試験地における水文観測，第26回水理講演会論文集，237～242，1982
- 22) 菅原正巳：流出解析法，117～120，1972，共立出版
- 23) 鈴木雅一・福嶋義宏：タンクモデルによる山地小流域の長期流出解析，第89回日本林学会大会発表論文集，363～366，1978

- 24) 金丸昭治・高棟琢馬：水文学，125～126，1975，朝倉書店
- 25) 角屋 睦・福島 晨・佐合純造：丘陵山地流域モデルと洪水流出モデル，京大防災研年報21 B-2，219～233，1978
- 26) R.A. Freeze: Three-dimensional, transient, saturated-unsaturated flow in a groundwater basin, Wat. Resour.Res. 7-2, 347～366, 1971