

混交複層林の構造と造成法 (1)

ヒノキ、アカマツ、広葉樹の階層混交について

赤井 龍男・吉村健次郎・真鍋 逸平
上田晋之助・本城 尚正*

Structure and Silvicultural System of Multi-Storied Mixture Forests (1)
On Stratified Mixture of Hinoki, Akamatsu and Broad-Leaf Trees

Tatsuo AKAI, Kenjiro YOSHIMURA, Ippei MANABE
Shinnosuke UEDA and Takaaki HONJYO

要 旨

京都市北部の京北町付近にはヒノキとアカマツあるいは広葉樹の階層的に異種混交した複層林が広く存在する。本研究はそのうち2つのタイプの林分 (Stand A, B) の特性を解析し、その造成法について論議したものである。

Stand A (人工ヒノキ・天然アカマツ混交複層林): 本林分のヒノキは70年前に人工植栽され、その後アカマツが天然更新し混交して成林したものである。現在のアカマツの材積混交率は緩斜地(7°)の Plot 1 で83%, 急斜地(25°)の Plot 2 で64%で、ヒノキより生長もよい。林内は比較的明るく、そのためヒノキ稚樹と下層植生がよく成立している。D分布や階層構造をみると、林分の成立初期は単層構造であったが、樹種の生長差にもとづいて複層構造になったので、Plot 1 では上層のアカマツと中層のヒノキが明らかに分離している。これに反し、Plot 2 ではアカマツが優勢木であるが18~20mの樹高階で重なり、階層としての明らかな境は認められない。一方下層植生も含めると著しく不連続な複層林になっている。

このような混交複層林を造成するには、まずアカマツを点状か周辺(60m以内)に残して皆伐し、ヒノキを植栽する。天然生のアカマツが生長しヒノキと競合し始めたら基本的にはヒノキ2:アカマツ1の比率になるよう除間伐すればよい。

Stand B (天然生ヒノキ・アカマツ・広葉樹混交複層林): 年輪の生長解析の結果から判断すると、本林分は約65年前ほぼ同様の林分が強度に伐採された後、ヒノキの林内残存稚樹と天然更新したアカマツ、広葉樹が混交して生長した二次林であると推定される。直径4 cm以上の各樹種の混交率は本数ではヒノキが、材積ではアカマツが多く、広葉樹は少ない。D(>4 cm)分布や階層構造は明らかに連続し、混交した択伐林型を示している。しかしアカマツは下層に成立せず、広葉樹は上層に存在しない。

本林分の造成法はアカマツの母樹を ha あたり数本程度散生させて、伐期に達した上、中層木をすべて収穫伐採する。天然生ヒノキ稚樹を 10,000本/ha 前後に本数調整しながら林床の相対照度が50%以上になるよう下刈りを何回か行なう。成林時の本数混交率はヒノキ2:アカマツ1が望ましい。以上の混交複層林は A層の堆積量から判断して、ヒノキの単純林より林地保全に役立つようである。

* 京都府立大学農学部

は じ め に

複層林は単層林に、また混交林は単純林に比し国土保全、水源かん養あるいは風致等の公益的機能が強く、また地力維持、生産量増大等に対しても有効な森林造成法であるとしてこれらに関する研究^{1,2,3,4)}も多くなってきた。特に閉鎖したヒノキ単純一斉林の場合は、林床の裸地化、表土の流亡にもとづく地力減退を起こしやすいことが次第に明らかになってきた^{5,6,7,8)}ので、ヒノキについての混交林とか複層林施業は林地保全上きわめて望ましいといえよう^{9,10)}。

一方、現在2, 3林業地において行なわれているスギまたはヒノキの複層林施業²⁾もそのほとんどは経験的技術にもとづくもので、普遍的な技術体系として確立されたものは少ない。特に近畿、中国地方に多くみられるアカマツや広葉樹の混交したヒノキまたはスギ林は、造林初期の保育おくれに起因したものや、天然生のスギやヒノキを立木として残した林分がほとんどであり、これも施業上からあるいは生産性から問題があるとして、最近一斉林に改植される事例が少なくない。またこれらに関する報告もまだそれほど多くない^{11,12,13,14,15,16,17)}。

本研究は近畿地方に現存する上記のようなスギまたはヒノキとアカマツ、広葉樹との混交した複層林の構造を解析し、それぞれの環境に適した造成技術を体系付けようとしたもので、今回は人工造林したヒノキおよび天然生ヒノキと他樹種との混交複層林の事例をとりまとめた。

なお林型区分について最近2, 3論議^{2,18)}があるので、ここで用いた混交複層林について特に説明を加えておきたい。古くから内外においていくつかの林型区分が提案されている^{19,20,21,22,23)}が、林型は単木樹冠の空間的な重なり方によって分けられるので、実際の林分特に天然生林においてこれを厳密に細分することは困難な場合が多い。それ故ここでは単層林（または一斉林）に対応する林型として、二段林、多段林のような階層構造の明らかなものと、連続層林ともいわれる択伐林型をも含め複層林と呼ぶことにする。また生長速度や耐陰性に差のある異種混交の場合は、時間とともに単層構造から多様な複層構造に変化し、いわゆる階層混交 (stratified mixture)²³⁾ になる場合が多い。そして特に本研究の対象とする林分はすべて混交型の複層林であり、同種単純型の複層林とは異なることから混交複層林として取扱いたい。

本研究のうち林分解析については文部省科学研究費（一般研究）の助成により、また地域山林所有者の実態調査については水利科学研究所の助力により行なわれた。また調査の企画にあたっては京都大学農学部半田教授の助言と、現地調査では草木紘司氏と牧武夫氏の協力があった。本報告をとりまとめるにあたり各位に深謝の意を表したい。

1. 調査地の自然的,社会的概況

調査は1981年から1982年にかけて京都府京北町の民有林で行なった。京北町は淀川の支流桂川（大堰川）の上流に位置し、標高は300~800 m、中心地の周山地区の年平均気温は13℃前後、年降水量はほぼ1,700 mmである。地質は全域にわたり大部分秩父古生層であるが、局所的には洪積層、沖積層のところもみられる。調査地の個々の土壌については後述するが、全域的にみて中腹より上部尾根付近には乾性褐色森林土 (B_A, B_B) が、また山脚部や谷筋には適潤性褐色森林土 (B_D) が普遍的に分布している。

森林帯としては大部分（標高600 m以下）シーカシの常緑広葉樹林帯に属するが、古くからの伐採の繰返しによって現在の自然植生は、ほとんどナラ類等の落葉広葉樹とアカマツで占められている。全般的にみるとB_A, B_B型土壌の分布するところはアカマツ二次林およびアカマツ・ヒノキ混交林もしくは落葉広葉樹が成立し、一部ヒノキ林となっているが、B_D型土壌のところは

土地生産性が高いのでほとんどスギ人工林となっている。

京北町は古都京都の木材供給地として古くから発展してきた林業地であり、特に大堰川上流域の山国、黒田地区にはヤマグニスギと呼ばれる独特のスギの生産技術が定着している^{24,25)}。また弓削川流域の弓削、周山地区はアカマツ林が多く、丹波マツタケの生産地として有名であり、さらに大堰川下流域の宇津地区は丹波薪の生産地として、細野川流域の細野地区は北山に近く、磨丸太生産地として知られている。

このように京北町は西日本の林業の縮図のようであるが、林野面積約20,000 ha のうちスギ林35%、ヒノキ林12%で人工林率は意外に低い。アカマツ林は約3,800 ha (19%)で、薪や肥料源として下木、下草を頻繁に採取し林地が痩悪化した里山が尾根付近に多い。しかしこの中にはヒノキの混交した林分も多く、確かな面積は調査されていないが、2 ha 以上の山林を保有する林家の約55%、194人のアンケート調査の結果から推定すると、1,200 ha から1,600 ha に達するものと思われる。

このようなアカマツとヒノキの混交林には、これに広葉樹を混交したり、また単層から複層までの種々の階層構造がみられる。その成立過程には2つのタイプがあり、アンケート調査の結果では、約60%はヒノキ、アカマツとも天然生林で、残り約40%はヒノキ植栽後アカマツが天然に進入成立した林分のものである。また現存の混交林の取扱いについて、マツ、ヒノキとも皆伐し人工造林しようと考えている林家は約51%で、マツ、ヒノキとも立木として残そうとする考えは僅か14%弱にすぎない。

本報告では上述のような自然的、社会的環境をふまえ、1つは人工植栽したヒノキ造林地に天然更新したアカマツがともに生長して混交複層林になった2つの林分（人工ヒノキ、天然アカマツ混交複層林）と、他はヒノキ、アカマツあるいは広葉樹とも天然更新し成林した林分（天然生ヒノキ、アカマツ、広葉樹混交複層林）を調査の対象として解析を行なった。調査地内の自然条件についてはそれぞれの林分構造の節で記述することにする。

2. 調 査 方 法

各調査林分とも20×20mの調査プロットを設け、胸高直径4 cm以上の直径と樹高の毎木調査を行なう一方、調査地内においてミノルタデジタル照度計（T-1型）を用いた2分間の積分法による林内の相対照度および土壌の諸性質を調べた。また人工ヒノキ、天然アカマツ混交複層林においては、2×2 m枠のプロットを2箇所設けヒノキの天然生稚樹や下層植生の成立状態を調査した。一方、天然生ヒノキ、アカマツ、広葉樹混交複層林においては、4 m幅、20 m長さのベルトランセクトを調査地内に設け、そこに成立する樹種の位置と樹高を測定し、平面的、垂直的構造を解析した。さらに隣接する皆伐地においてヒノキとアカマツの伐根の年輪調査および林外地におけるアカマツ稚樹の更新状態を調査した。

3. 人工ヒノキ、天然アカマツ混交複層林 (Stand A)

1) 林分の概況

調査林分は京北町山国地区塔の草木絃司氏の所有林で、ヒノキは70年前に人工植栽されたものである。本林分は山脚部の緩斜地から上部尾根付近の傾斜地にわたって成立していたので、斜面下部の傾斜7°、方位W80°Sの箇所をPlot 1とし、傾斜25°、方位Wの箇所をPlot 2として2箇所を調査した。標高はおよそ270 mである。

調査プロット20×20m内の上層木の平均胸高直径、平均樹高およびhaあたりの立木本数、胸高

Table 1. Composition of upper trees in Stand A

Plot	Tree species	Mean diameter at breast height (cm)	Mean height (m)	Number of tree (no./ha)	Basal area (m ² /ha)	Stem volume (m ³ /ha)
1 (Inclination 7°)	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	18.3	14.9	400	10.8	83
	<i>Pinus densiflora</i>	30.6	23.5	500	37.8	400
	Total	—	—	900	48.6	483
2 (Inclination 25°)	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	17.9	14.2	600	16.5	134
	<i>Pinus densiflora</i>	26.4	22.1	400	23.6	238
	Total	—	—	1,000	40.1	372

断面積合計、立木材積はそれぞれ Table 1 のようであった。両林分のヒノキとアカマツの混交率は、本数ではあまり差がないが、材積ではアカマツが著しく多く Plot 1 で83%、Plot 2 で64%を占めていた。アカマツの年齢は明らかでないが、周辺の伐根から推定すると、ヒノキとはほぼ同齢の約70年生かそれより少し若いものが混在していると思われる。それにもかかわらず表から明らかなように直径、樹高ともアカマツは著しく大きい。なお両林分を比較すると直径、樹高の平均値には著しい差は認められないが、材積ではヒノキは Plot 2 が、アカマツは Plot 1 の方が多い。しかし全般的には Plot 1 の方が生長は良好であるといえよう。また林齢に対応した混交林の総材積は他地域のもの^{2,26,27)}と比較し多い方のランクに入るようである。

2) 林内の光環境

両林分内の林冠下、下層植生上における8月下旬の相対照度は Table 2 に示したようである。林内の明るさとしては断面積合計が 40m²/ha を越えているのに、ヒノキにアカマツが混交した野呂山の調査例^{28,29)}と同様、閉鎖状態のヒノキ一斉林より著しく明るく、後述のようにヒノキ稚樹の更新に適した状態にあるようである^{30,31,32,33)}。また Plot 1 の林冠下の相対照度は Plot 2 よ

Table 2. Light conditions in Stand A

Plot	Illumination of open stand (lux)	Relative light intensity	
		Under canopy	On ground floor
1	96,000	4.7	0.60
2	95,000	1.8	0.85

り明るく、そのため下層植生がよく繁茂しているので、林床は Plot 2 よりかえって暗い。

3) A₀層、土壌断面の諸性質

調査プロット内におけるA₀層(1 m², 2箇所平均)および土壌断面の諸性質は Table 3 のようであった。Plot 1 の土壌型は B_D(崩)型でA層がきわめて厚く、A₁~A₄層と4つの層位が区別できる。これは山腹斜面の土壌が数回にわたって流出移動し、この山脚部付近に堆積した結果であると思われる。厚いこのA層の構造はほとんど団粒状で、著しく肥沃な土壌となっている。これに反し Plot 2 では、A層が僅か5 cm程度で著しく浅く、土壌型はB₀型と判断された。斜面中腹のこの林分については、そのA層の薄さからみて過去に表層土の流亡があったものと思われるが、B層が比較的厚く、またA₀層量も 30ton/ha以上で、一般のヒノキ林のそれより多く堆積

Table 3. Amount of A₀ layer and discription of soil profile in Stand A

Plot	Horizon	Depth (cm)	Texture	Structure	Hardness	Definition of boundary	Dry weight of A ₀ layer (ton/ha)
1	A ₀	5	—	—	—	Indistinct Indistinct Indistinct Indistinct Distinct	54.0
	A ₁	0~ 3	Loam	Crumb	Very soft		
	A ₂	3~ 15	Clay loam	Crumb	Soft		
	A ₃	15~ 46	Loam	Crumb	Soft		
	A ₄	46~ 78	Clay loam	Granular	Slightly hard		
	B	78~105	Clay loam	Clod	Slightly hard		
	C	105~	Clay loam	—	Slightly hard		
2	A ₀	3	—	—	—	Distinct Indistinct	33.4
	A	0~ 5	Loam	Granular	Soft		
	B	5~ 55	Clay loam	Granular	Slightly hard		
	C	55~ 75	—	Clod	Slightly hard		

する^{6,7,8)} ようになったので、地力は着実に回復しつつあると思われる。このことはアカマツの落葉によるヒノキ落葉の流亡阻止効果があらわれた結果と考えられよう。

4) 上層木の直径分布とD—H関係

Plot 1, 2 における上層木のヒノキとアカマツの胸高直径(D)の分布は、Fig. 1, 2 のようであっ

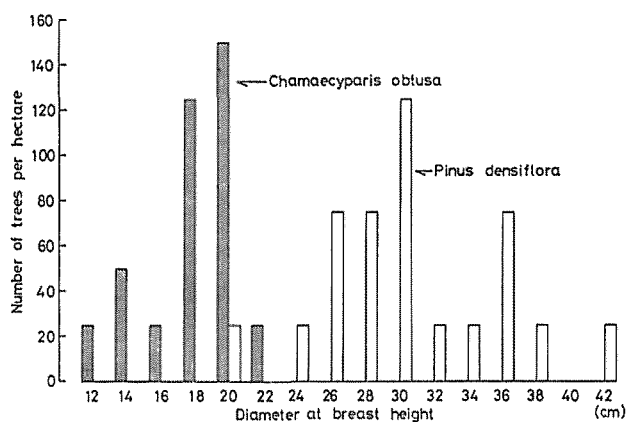


Fig. 1 Diameter distribution of upper trees in Stand A - Plot 1

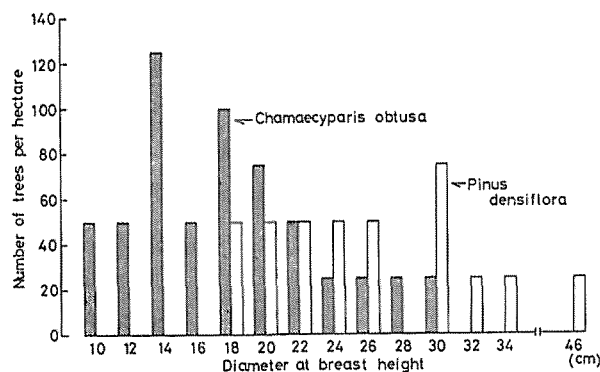


Fig. 2 Diameter distribution of upper trees in Stand A - Plot 2

た。ヒノキとアカマツのD分布は Plot 1 では明らかに分離し、Plot 2 では互に重なり合っている。これは Plot 1 のアカマツの直径生長が Plot 2 のそれよりいくらか大きいことと、Table 1 から認められるように、ヒノキの場合平均直径では両 Plot にほとんど差はないが、Plot 2 におけるDの分散が大きく、特に20cm以上のものが比較的多く現われることによるものである。

このことから判断すると、土壌条件が良好であっても生長の良いアカマツが相対的に材積混交率を高めて上層を占める場合は、下層のヒノキの生長はかなり抑制されるに反し、アカマツの混交率が相対的に低い場合は、多少土壌条件が劣っていても下層になるヒノキもそれなりの生長ができ、特にアカマツの被圧をあまりうけないところの個体は、きわだって生長が促がされているといえる。

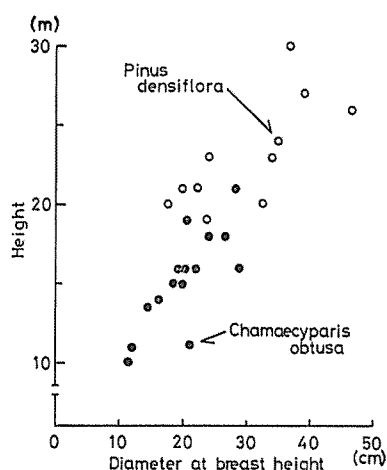


Fig. 3 Allometric relation between height and diameter of upper trees in Stand A

両プロットにおけるヒノキとアカマツの樹高(H)とDの相対生長関係は Fig. 3 のようで、かなりばらつきはあるが、樹高生長を抑制されているヒノキの H/D は、他のヒノキ一斉単純林の場合^{3,28)}より、また上層のアカマツのそれより小さい傾向がある。一方本林分におけるアカマツのうち特に優勢木の H/D は80~100にもなり、著しく細長であるといえる。このような混交複層林における通直性、曲り度あるいは枝節率など形質に関する解析が今後必要になろう。

5) 天然生ヒノキ稚樹と下層植生の成立状態

Plot 1, 2における2×2 m 枠2箇所(8 m²)の天然生ヒノキ稚樹および下層植生の高さの分布は Table 4, 5 のようであった。両林分とも常緑広葉樹が比較的多く成立しているが、特に Plot 1 ではクロソヨゴが、Plot 2 ではアセビが多かった。常緑、落葉樹を合せた広葉樹の ha あたりの乾重は Plot 1 で 7.8 ton, Plot 2 で 2.4 ton であり、

Plot 1 の方が著しく多い。また下層植生の大きさでも Plot 1 の方が大きく、よく繁茂しているといえる。これは光環境のところでも述べたように、相対的にアカマツの混交率の高い Plot 1 の林内照度が、Plot 2 よりも明るいことにもとづくものと考えられる。

一方、両林分とも Table 4, 5 に認められるようにヒノキの天然生稚樹も多く、haあたり Plot 1 では約10,000本、Plot 2 では44,000本ほど成立していた。このヒノキ稚樹の20cmごとの高さの分布は Fig. 4 に示したようで、Plot 1 は本数は少ないが60~80cm高さの稚樹が相対的に多いに反し、Plot 2 では小さいものが著しく多く、更新が継続している状態である。しかし両林分ともクロソヨゴやアセビの繁茂するところにはヒノキ稚樹は全くみられない。したがって今後天然更新によって全面的にヒノキ稚樹を成立させようとするならば、特に常緑広葉樹の刈払いを行なう必要があろう。

6) 林分の階層構造

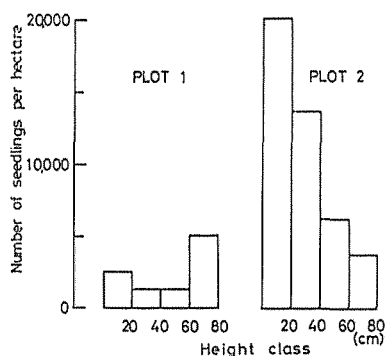
森林の垂直的な構造をあらわすものとして、樹高階の頻度分布、階層別の被度あるいは生産構造図など^{34,35)}があるが、本調査林分のように上層、中層、下層に分かれた階層別の構造を同時により理解しやすくするため、ここでは各樹種ごとに上層階からの本数の加算値をもとめ¹⁶⁾、Fig. 5, 6に示した。したがってこの図は各樹高階における本数を示しているものであるが、上層木と下層木の調査面積が異なるので、測定精度に多少問題があろう。なおヒノキのみは、上層と下層が明らかに不連続であるので、別々にとりあつかうことにした。

Table 4. Height distribution of undergrowth in Stand A-Plot 1

			(number/8 m ²)					
Height class (cm)			~25	~50	~100	~150	~200	~250
	ヒ ノ キ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	2	2	4			
Evergreen	クロソヨゴ	<i>Ilex longipedunculata</i>	9	40	17	4	5	
	イヌツゲ	<i>Ilex crenata</i>	6	24	6			
	アセビ	<i>Pieris japonica</i>		4	10			
	ソヨゴ	<i>Ilex pedunculosa</i>		3	8			
	ヤブコウジ	<i>Ardisia japonica</i>	1					
Deciduous	ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>		2	2	5	2	1
	ツツジ類	<i>Rhododendron</i> spp.			8	4	1	
	スノキ	<i>Vaccinium smallii</i>		2	1	1		
	コシアブラ	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i>						1

Table 5. Height distribution of undergrowth in Stand A-Plot 2

			(number/8 m ²)			
Height class (cm)			~25	~50	~100	~150
	ヒ ノ キ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	19	9	7	
Evergreen	アセビ	<i>Pieris japonica</i>		8	20	
	イヌツゲ	<i>Ilex crenata</i>	3	2		
	ソヨゴ	<i>Ilex pedunculosa</i>		1	1	
	ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i>		1	1	
Deciduous	ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>		1	9	1
	スノキ	<i>Vaccinium smallii</i>		2	2	2
	ツツジ類	<i>Rhododendron</i> spp.		2	2	1
	エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>			3	
	タカノツメ	<i>Evodiopanax innovans</i>				1

Fig. 4 Height distribution of natural seedlings of *Chamaecyparis obtusa* in Stand A

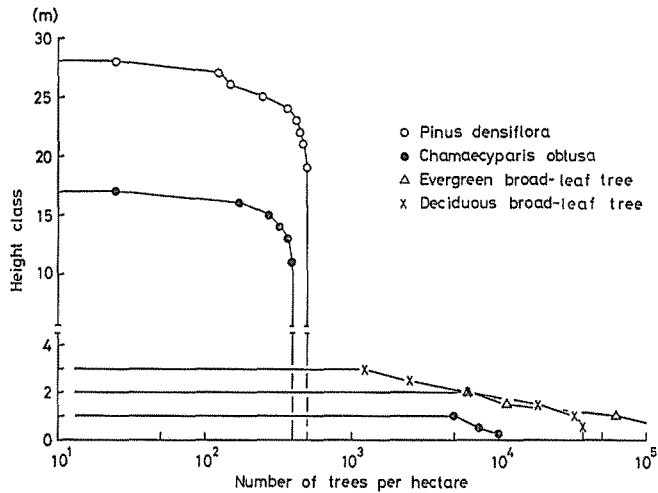


Fig. 5 Changes of tree number at each height class in Stand A - Plot 1

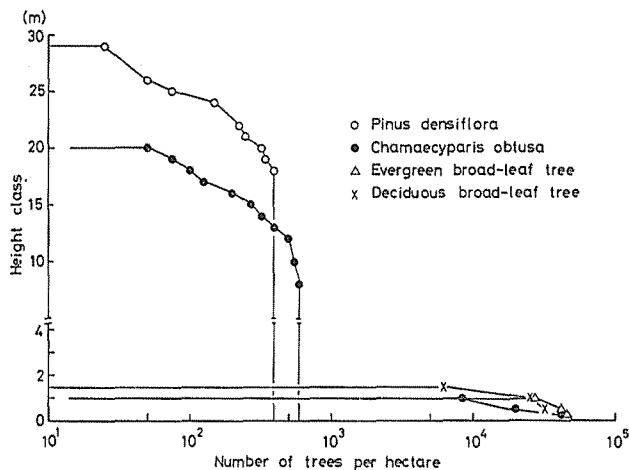


Fig. 6 Changes of tree number at each height class in Stand A - Plot 2

両図から認められるように、Plot 1 では 28~19m の上層階をアカマツが占め、17~11m の中層階にヒノキ、3 m 以下の下層階にヒノキ稚樹や広葉樹が成立し、混交型の三段林となっている。一方 Plot 2 の林分も上層はアカマツ、中層にヒノキそして下層のヒノキ稚樹、広葉樹に分かれるが、アカマツとヒノキは 20~18m の樹高階で樹高が重なり、段（階）としての明らかな境が認められない。勿論実際の林分においては Plot 1 でも厳密には樹冠の重なりはあるので、上中層のアカマツとヒノキの間を、二段にするか二層とか複層にするかは論議^{19,20,21)}のあるところであり、現実には困難な問題である。それ故ここでははじめにも述べたように、比較的階層の明らかな混交複層林としておくが、このような階層構造は、他の多くの事例^{2,3,27)}と同様、林分成立の初期段階の単層構造から、それぞれの樹種の生長差にもとづいて複層構造に変化してきたものである。そして本林分においてはそれほど遠くない過去、おそらく十数年前から下層に広葉樹が進入しヒノキも更新を始めた結果、前述のような著しく不連続な複層林になったものと思われる。

この両林分は現在の大きさからみてヒノキ、アカマツとも充分収穫の対象になりうるので、林地保全上問題の少ないこのような条件のところでは、適宜アカマツの母樹を残して皆伐し、ヒノキを造林すれば、同様のアカマツ、ヒノキ混交林を比較的容易に造成できよう。

4. 天然生ヒノキ、アカマツ、広葉樹混交複層林 (Stand B)

1) 林分の概況

調査林分は京北町下弓削に存在し、牧武夫氏の所有林で、平均傾斜 36° 、方位 $N20^{\circ}W$ の多少起伏に富んだ林地である。また本林分はアカマツ、広葉樹は勿論ヒノキもすべて天然更新によって成立した二次林である。20×20mの調査プロット内に成立する胸高直径4 cm以上（優勢木とする）のDとHの平均値および ha あたりの立木本数、胸高断面積合計、立木材積は Table 6 のようであった。

Table 6. Composition of dominant trees (DBH > 4 cm) in Stand B

Tree species	Mean diameter at breast height (cm)	Mean height (m)	Number of tree (no./ha)	Basal area (m ² /ha)	Stem volume (m ³ /ha)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	8.0	7.3	3,075	20.1	116.0
<i>Pinus densiflora</i>	13.5	14.0	850	14.8	124.3
Broad-leaf trees	5.4	5.0	650	1.7	6.6
Total	—	—	4,575	36.6	246.9

各樹種の混交率は、本数ではヒノキが約67%を占め、アカマツは僅か19%ほどであるが、材積ではアカマツが50%を越えヒノキより多い。なお広葉樹の混交はそれほど多くない。表から認められるように、本林分の平均直径や平均樹高あるいは林分材積等は前述の人工ヒノキ、天然アカマツ混交複層林 (Stand A) に比較し小さく、発達途中の段階にあるといえる。

2) 光環境と年齢構成からみた林分の成立過程

調査林分内の地床上の明るさは、相対照度1.7%で Stand A より明るく、後述のようにヒノキ稚樹は継続して更新できる環境にある。しかしアカマツの稚樹は全くみられないことから、陽性樹種の更新には暗すぎるといえることであろう。

本林分の成立経過についてはあまり明らかでないので、調査地内の小径木と調査地の下部に接続した伐採後2年目の造林地に残存する伐根の年輪を調べ、根元直径 (D_0) と年齢との関係をもとめたところ Fig. 7 のようになった。図に示したようにばらつきが大きく直径生長と年齢の間

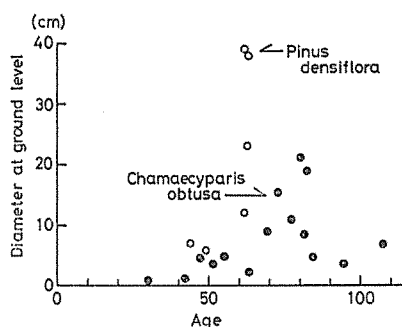


Fig. 7 Relation between age and diameter at ground level in Stand B

にはあまり明らかな関係は認められない。

ヒノキは D_0 が 1 cm 程度で 30 年生前後のものもあり、また古いところは 7 cm で 100 年を超えるものもある。また比較的成長のよいヒノキは 80 年で 21 cm に達しているものもあるが、全般的にヒノキの成長は不良である。このように成長と年齢構成のちらばりからみて、本林分のヒノキは明らかに天然更新によって成立したものと判断できる。

ヒノキの伐根の年輪調査にともない、70 年生以上の直径成長の経過を調べた結果、ほとんど例外なく 60～65 年前に急速に成長が増加していることが認められた。一方アカマツは D_0 で 40 cm 近く成長しているものもあるが、年齢はすべて 63 年生以下である。これらのことから判断すると、本林分は今から 60 数年前かなり強度に伐採された後、一部立木として残されたヒノキおよび林内にすでに更新していたヒノキと、伐採直後天然更新したアカマツがともに成長して優勢木を形成し、その後逐次更新したヒノキと薪採取を中止してからの広葉樹とを加え、現在の混交複層林になった可能性が高い。したがって 60 数年生の林分としては、Table 1, 6 の比較でもわかるように、Stand A より成長はきわめて不良である。

3) A_0 層、土壌断面の諸性質

調査林分の土壌の諸性質は Table 7 に示したようであった。A 層は著しく浅く粒状構造で、B 層も含めた土壌層全体としてかなり乾燥した土壌である。また土壌型は赤色風化を受けた rB_A 型と判定され、一般のアカマツ林にみられる瘦悪土壌であるといえる。これは薪採取など過去の

Table 7. Amount of A_0 layer and discription of soil profile in Stand B

Horizon	Depth (cm)	Texture	Structure	Hardness	Definition of boundary	Dry weight of A_0 layer (ton/ha)
A_0	3	—	—	—		16.9
A	0～3	Clay loam	Granular	Soft	Indistinct	
B	3～42	Clay loam	Clod	Soft		
C	42～55	Clay loam	Clod	Slightly hard	Indistinct	

森林の取扱い方で表層土がかなり流亡した結果であると思われる。しかし現在の A_0 層量は ha あたり約 17 ton (乾重) で Stand A より少ないが、地力はゆっくり回復しつつあるようである。

4) 優勢木の直径分布と D-H 関係

優勢木として胸高直径 4 cm 以上の木の D 分布を示すと Fig. 8 のようになった。前述の Stand A の構造とは異なり、広葉樹は小さい直径階にしかあらわれないが、アカマツ、ヒノキ、広葉樹とも互いに重なり合って大きさに明瞭な境がみられない。したがって D 分布でみる限り択伐型の混交複層林となっている。

一部 D が 4 cm 以下のものを含めた調査地内の D-H 関係は Fig. 9 のようで、多少のばらつきはあるが相対成長関係に各樹種間あるいは大きさ別の差はあらわれない。また H が 10 m 以下では H/D が比較的大きく、相対的に細長なものが多い傾向がある。ヒノキについてのこの傾向は林内被陰下にある天然生稚樹、幼樹の一般的な傾向として認められている^{4,30)}。

5) 林分の階層構造

前述のように本林分はアカマツ、ヒノキ、広葉樹の混交複層林であるが、アカマツ以外は更新が継続している択伐林型といえそうであるので、下層に成立する稚樹をも含め同じ精度で林分の構成状態を明らかにするために、4 m 幅、20 m 長さのベルトトランセクト内のすべての樹種の平面的位置と垂直的構造を調べてみた。そして調査結果をアカマツ、ヒノキと広葉樹は常緑樹と落

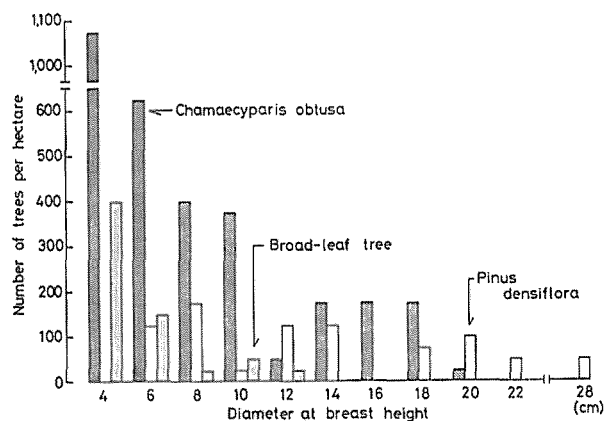


Fig. 8 Diameter distribution of dominant trees in Stand B

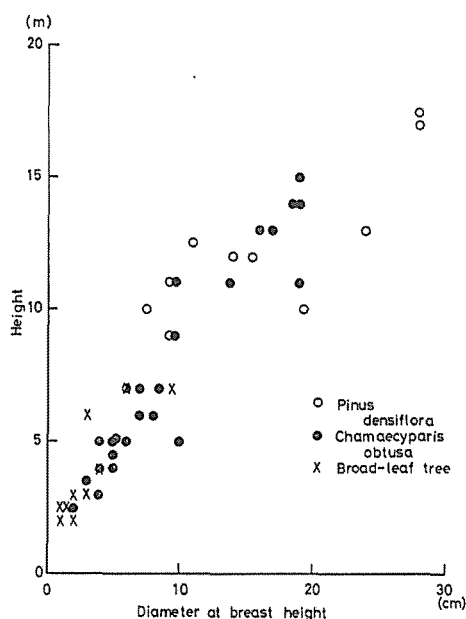


Fig. 9 Allometric relation between height and diameter of each tree in Stand B

葉樹とにまとめ、Fig. 10 には上層階からの本数変化を、Fig. 11 にはそれらの垂直構造（側面図）と平面的位置（平面図）を示した。

Fig. 10, 11から理解されるように、本林分は階層構造からは明らかに連続した層をもつ択伐林型であり、アカマツを除き更新は継続している状態である。また上層はアカマツとヒノキがほぼ同等に混交し、階層の分離がみられないが、広葉樹は常緑、落葉樹とも過去の薪採取の影響をうけ中、下層にしか存在しない。

各樹種ごとの平面的な分散構造は調査地の関係で調べていないが、Fig. 11 の平面的位置図から推定すると、上層を占めるアカマツと下層のヒノキ稚樹の分布はやや集中的で、分布相関的にも京都大学上賀茂試験地の事例¹⁶⁾と同様、共存的な傾向が認められる。これはアカマツの下、比較的明るい林床にヒノキ稚樹が成立しやすい²⁹⁾ことを示しているといえる。一方ヒノキの上、

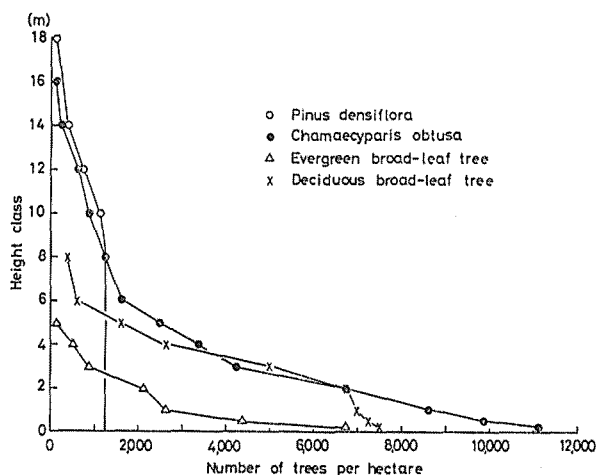


Fig. 10 Changes of tree number at each height class in Stand B.
 Evergreen broad-leaf trees: *Pieris japonica*,
Eurya japonica, *Ilex pedunculosa*, *Skimia japonica*, *Ilex crenata*.
 Deciduous trees: *Rhododendron* spp., *Lyonia ovalifolia*, *Hamamelis*
japonica, *Quercus serrata*, *Acer* spp., Others.

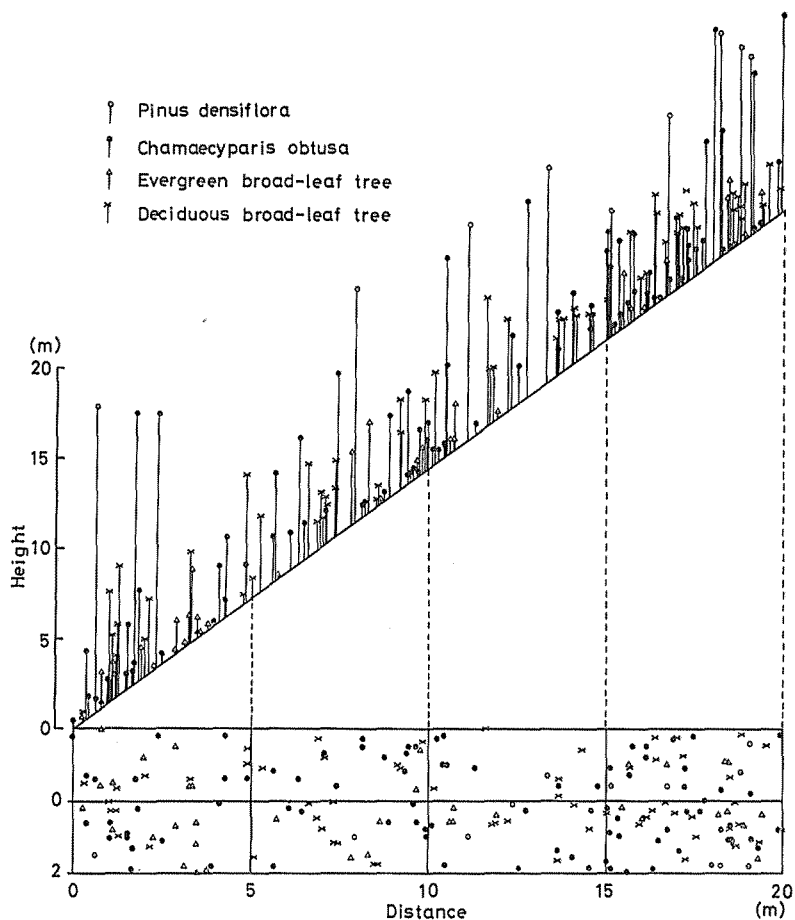


Fig. 11 Stratification and distributional structure of each tree by
 belt transect method in Stand B

中層木や広葉樹はほぼランダムに分布しているようで、枯死木もほとんどみられない。

上層樹高階からのヒノキの本数変化は指数関数的で、中、下層では優占種となっている。その総本数は ha あたり 10,000 本以上に達し、もしこのような状態で上層木が伐採されても、下層のヒノキ稚樹は後継樹として確実に育つであろう^{36,37)}。これに反しアカマツは樹高 7 m 以下のものが全くなく、この状態で上層のアカマツとヒノキだけが伐採されると、陽性樹種であるアカマツは更新できず林分から姿を消すことになる。したがってアカマツを混交する複層林を継続して維持するためには、アカマツの母樹を残すとともに、中、下層のヒノキや広葉樹も適宜除去し、林床にアカマツの更新に可能な陽光を与えるよう施業する必要がある。

5. 混交複層林の造成法

京北町に広く存在するアカマツ、ヒノキを主体とした 2 つのタイプの混交複層林は、前述したようにいずれも定まった施業体系にもとづいて造成されたものではない。Stand A の場合はヒノキの人工造林地に側方天然下種によって進入したアカマツが、除伐されずに混交して生長したものであり、Stand B の場合は多分現在の林相と類似したアカマツ、ヒノキ混交林が、ヒノキの立木を残して強度に伐採され、その前後に天然更新したアカマツやヒノキさらには、広葉樹も加えて混交複層林になったものである。したがって大部分は自然に放置された状態での推移、特に Stand B は植生遷移の進行にゆだねた状態であるので、林業としての育成技術面からは問題があるとされるであろう。しかしこれらの林分やその成立過程は、新しく混交複層林の造成技術を組立てる上に貴重な教材となるはずである。特にヒノキの天然更新法にとっては一つの良い手本である。

ヒノキを主体にアカマツおよび広葉樹を混交させた複層林の造成法は、林地の初期条件とその成立過程の差や生産目標から、いろいろ考えられる。他地域の調査例^{2,3,11,13,14,29,38,39)}を参考にすると、もっとも普遍的にみられるのは①ヒノキ人工造林地に天然更新したアカマツを混生させる方法で Stand A がこれにあたる。そのほか②アカマツ林下にヒノキを樹下植栽する方法^{2,40)}、③ヒノキとアカマツを同時に植栽する方法²⁹⁾あるいは④ヒノキ、アカマツのほか広葉樹も天然更新させる方法などがある。最後のすべて天然更新によって成林した混交複層林はこれまでほとんど研究の対象になっていなかったが、本報告で取扱った京北町のほか近畿中国地方には広く現存する林分であると思われる。

このような混交複層林のほとんどは確たる生産目標をもって造成されたものではないが、今後は、環境保全、地力維持あるいは生産量の増大等その林分造成法や林型のもつ特性を目的とした育林技術が提出されるべきであろう。しかし本報告においては土地生産性の低いあるいは地力減退のおそれのあるアカマツ林地帯におけるヒノキの育成法の一つとして、特に京北町を中心にした地域に適すると思われる混交複層林の基本的造成法をまとめておく。

1) 人工ヒノキ、天然アカマツ混交複層林の造成法

アカマツの母樹を点状（数本～十数本/ha）か林分の周辺（約 60m 以内）に残して皆伐し、丁寧な地ごしらえを行なってヒノキを普通植栽する。相前後して天然更新したアカマツの稚樹は下刈り時刈り払わずに残し、成林するにしたがって両樹種の本数をヒノキ 2、アカマツ 1 ぐらいの比率になるよう除間伐によって密度管理を行なう。

なお地ごしらえはできるだけ水平筋置地ごしらえとし、マツの更新が容易であるからといって京北町一帯でよく行なわれている火入れ地ごしらえはつつしむ必要がある。アカマツの天然更新について Stand B の造林地で調査した結果では、林縁から約 30m 地点までは 25,000-30,000

本/ha, 約50m地点で8,000~12,000本/ha 程度成立していたので、樹高の3~4倍ぐらいまでは更新の可能性はあろう。また、上述の混交率は一応の基準を示したものであるので、生長状態や生産目標によって適宜な混交歩合になるよう密度調整を行なえばよい。

本施業法によって成林した混交複層林の林床には、Stand A の事例のように下層植生として広葉樹のほかヒノキ稚樹も成立することが多い。これらは林地保全に大きな役割を果たしているのであるが、天然更新したヒノキの稚樹を後継樹として育成する方法もある。これはつぎに述べる方法に準ずればよからう。

2) 天然生ヒノキ、アカマツ混交複層林の造成法

一般には伐期に達した既存のヒノキとアカマツに広葉樹の混交した複層林から始めることになる。まず立木（母樹）としてアカマツを十数本/ha, ヒノキを数本/ha（稚樹が10,000本/ha以上成立しておれば不要）ずつ点状に残して上層木を伐採、搬出する。同時に中層（樹高2m以上）の広葉樹や形質の悪いヒノキはできるだけ強度に除伐する。また下層のヒノキ稚樹が10,000本/ha以上存在すれば本数整理する一方、アカマツの更新可能な林床の相対照度50%以上になるよう広葉樹特に常緑広葉樹は大部分下刈する。地がき等の更新補助作業はA層が極端に堆積している場合を除き行なわない。初期に進入する広葉樹についてはアカマツが成立するまで下刈りを続ける。天然更新したアカマツとヒノキが競合するようになればヒノキ2（稚樹を除く）、アカマツ1程度になるよう本数調整する。その後の間伐保育は生産目標にしたがって定めればよい。立木は次回かあるいは適宜に伐採、収穫する。

本法はこのように陽性樹種のアカマツは母樹（残伐）法によって、耐陰性の強いヒノキは一部傘伐法によって更新させるので、天然更新作業法としてはこれらの複合法といえるであろう。なお天然生ヒノキ、アカマツ混交複層林からヒノキ単純複層林へ誘導するには、上層木を収穫伐採し、中層以下の形質の良いヒノキを残して他は広葉樹とともに除伐する。その後林分の生長にとまって予備伐、下種伐等の管理を行なえば傘伐法によるヒノキの天然更新は可能である。また将来有用広葉樹の生産をも目標にするなら、ヒノキと広葉樹あるいはアカマツも混交させた複層林施業も上述の方法に準ずれば容易に実行できよう。

以上のほか、アカマツの大径材を生産目標におきながら⁴⁰⁾、あるいは京北町地域の主要産物の一つであるマツタケ生産を続けながら、二段混交林を造成する方法として、アカマツ林の下にヒノキを樹下植栽するやり方もあろう。ただこの方法の繰返しは一時的に複層林になる施業法であるので、ヒノキが成林した後は前述の立木を残す方法に移行して施業するのが林地保全上好ましいと思われる。

お わ り に

以上のように京北町に存在する混交複層林は2つのタイプに大別されるが、細かくみると成立初期の条件や成林までの人手の加えられ方などがまちまちであるので、林業生産上の価値、評価もまた様々であろう。1,000haを超えるこれらの特徴ある森林も、アンケート調査の結果、次第に林種転換される方向にある。本報告で論じた混交複層林の造成法は一つの基本的な方法にすぎないので、できるだけ多くの事例を解析し、それぞれの環境条件や生産目標に適した育成技術を確立させておく必要があるように思う。また京都、大阪周辺にはヒノキのほかスギを主体に混交した複層林が現存するので、今後の研究課題として解析を進めてみたいと考えている。

引用文献

- 1) 坂口勝美監修：これからの森林施業，1975
- 2) 日本林業技術協会：複層林の施業技術，1982
- 3) 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
- 4) 赤井龍男他：ヒノキ林内におけるスギ直挿苗とヒノキ天然稚樹および下層植生について，京大演報，54，1982
- 5) 杉浦泰蔵他：尾鷲地方におけるヒノキ林の林地保護に関する研究(II)，日林誌，77，1966
- 6) 赤井龍男・吉村健次郎他：尾鷲地方ヒノキ林の保育過程における林地保全(I)(II)，日林論，91，1980
- 7) 赤井龍男・吉村健次郎・上田晋之助他：人工降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について(I～IV)，日林論，92，1981
- 8) 赤井龍男・吉村健次郎・片桐成夫・上田晋之助他：人工降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について(V～IX)，日林論，93，1982
- 9) 赤井龍男・吉村健次郎・上田晋之助他：人工降雨によるヒノキ林内の落葉，土壌等の流出移動について(X～XII)，日林論，94，1983
- 10) 赤井龍男：ヒノキ林の林地保全と天然更新，森林立地，1980
- 11) 横山緑・前田千秋：アカマツ・ヒノキ混交林について(第1報)，アカマツ研論集，1954
- 12) 宇佐美広吉：ヒノキ・カラマツ混交林内におけるヒノキ造林木の生態，日林誌，65，1956
- 13) 山本久仁雄：ヒノキ造林地に侵入したアカマツの取扱い，日林関西支講，6，1957
- 14) 森田正彦：ヒノキ造林地に侵入したアカマツの取扱いについて，岡山署管内小本宮国有林の場合，林業技術，323，1969
- 15) 赤井龍男他：混交したヒノキ択伐林分の構造と更新，日林論集，87，1976
- 16) 赤井龍男・阪上俊郎・大野次郎：アカマツ，ヒノキ，広葉樹混交林の構造と二次遷移，京大演報，49，1977
- 17) 赤井龍男他：ヒノキ林分の構成状態と稚樹，下層植生の成立状態，日林論，92，1981
- 18) 山畑一善：複層林の定義についての疑問，林業技術，488，1982
- 19) 寺崎渡：間伐法要綱，1928
- 20) 吉田正男：理論森林経営学，1935
- 21) 中村賢太郎：林業百科事典，1971
- 22) BAKER, F.S.: Principles of Silviculture, 1950
- 23) SMITH, D.M.: The Practice of Silviculture, 1962
- 24) 本吉瑠璃雄・本城尚正他：山国スギに関する研究(II)，京府大演報，12，1968
- 25) 本吉瑠璃雄：山国スギに関する研究(III)，京府大演報，13，1969
- 26) 加藤亮助・森麻須夫：野辺地営林署におけるアカマツ・ヒノキ2段林の生長と物質生産，日林誌，85，1974
- 27) 早稻田収他：アカマツ・ヒノキ混交林に関する研究(II)，日林関西支講，27，1976
- 28) 赤井龍男：天然更新に関する研究(IV)，京大演報，50，1978
- 29) 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・上田晋之助：ヒノキ林分の構成状態と稚樹，下層植生の成立状態について，日林論，92，1981
- 30) 四手井綱英・赤井龍男他：ヒノキ林—その生態と天然更新，1974
- 31) 加茂皓一・赤井龍男：ヒノキ人工林における再生産過程の検討(II)，京大演報，46，1974
- 32) 真下正樹・松江亨・赤井龍男：ヒノキ天然更新の事業化について，日林論，89，1978
- 33) 赤井龍男：天然更新に関する研究(III) 尾鷲地方におけるヒノキ林の更新，京大演報，47，1975
- 34) 沼田真編：群落の遷移とその機構—植物生態学講座4，1977
- 35) 吉良竜夫：植物生態学—生態学大系2(上)，1960
- 36) 松江亨・太田篤：住友別子山林におけるヒノキ天然更新の条件と施業技術，林業技術，481，1982
- 37) 松江亨他：成林したヒノキ天然更新の除伐後の生長経過について，日林論，94，1983
- 38) 白間純雄：森林の取扱いに関する研究(II) ヒノキ造林地に侵入したアカマツの取扱いについて，鳥取林試研報，13，1970
- 39) 大北英太郎：私有林特殊施業形態林の実態について(III) アカマツ・ヒノキの2段林形式，鳥取林試研報，6，1963
- 40) 大阪営林局：ヒノキ造林地に侵入するアカマツの取扱い，1980

Résumé

There are various multi-storied stands in which mixed the dissimilar species of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) with Akamatsu (*Pinus densiflora*) or with broad leaved trees at Keihoku Town located in the northern part of Kyoto City. In these stands, the growing structure of two characteristic forests (Stand A, B) was analyzed, and the silvicultural system of the storied mixture forest was discussed in this paper.

Stand A (Multi-storied stand mixed artificial Hinoki with natural Akamatsu): This stand is the mixed forest which was grown with Hinoki afforested 70 years ago and then with Akamatsu naturally regenerated in its plantation. The existing volume ratio of Akamatsu is 83% in Plot 1 of gentle-sloped place (about 7°) and 64% in Plot 2 of steep-sloped place (about 25°), and Akamatsu grow more rapidly than Hinoki (Table 1). The relative light intensity under the canopy indicates high value such as 8-12% (Table 2), therefore, there are overgrown various undergrowths and natural Hinoki seedlings (Table 4, 5, Fig. 4). Viewing the DBH distribution (Fig.1, 2) and stratification (Fig.5, 6), it seems that the vertical structure of the forest has changed from mono-stratum to multi-stratum in proportion to the growth rate of each species. Therefore, the story in Plot 1 is clearly separated in such a way as Akamatsu occupies at upper stratum and Hinoki composes middle stratum. On the other hand, in Plot 2, although Akamatsu is dominant tree and Hinoki dominated, both the trees overlap with each other in 18-20m height class, and it is recognized that the story is continuous state. In addition, including the natural Hinoki seedlings and the undergrowths in lower stratum, it can be said that Stand A is composed remarkable discontinuous story.

The silvicultural system of this multi-storied mixture forest is as follows: In the first place, the stand is cut clear except the mother trees of Akamatsu which were reserved here and there or around the cutting area (inside distance of about 60m), in succession, Hinoki is planted there. If the naturally regenerated Akamatsu grows so that it will compete with Hinoki, it is necessary to adjust the numbers of Hinoki and Akamatsu so as to obtain the rate of 2 to 1 respectively by improvement cutting and thinning.

Stand B (Multi-storied stand of mixed natural Hinoki, Akamatsu and broad-leaf tree): Judging from the analysis of annual rings of the sample trees, it is presumed that the stand was the secondary forest which had grown in the mixed state of Hinoki seedlings naturally established in the stand with Akamatsu and broad leaved trees naturally regenerated after intensely cutting down about 65 years ago. In the mixture rate of the each species over 4cm DBH, the number of Hinoki is more, on the contrary, the volume of Akamatsu is more than others respectively, and the broad leaved tree is remarkably few (Table 6). In DBH (over 4cm) distribution (Fig.8) and stratification (all trees) (Fig. 10, 11) of Stand B, the border of each species is overlapped and is not clear, at present, the stand is formed a selection forest type with mixed dissimilar species. However, Akamatsu can not establish at lower layer and broad leaved trees lack from upper layer.

The silvicultural system of the similar forest is as follows: All the tree except Akamatsu

reserved in scattered for mother tree (about 5-10 trees per ha) in upper and middle stratum is felled for commercial or salvage cutting. The number of natural Hinoki seedlings in lower stratum are controlled to be about 10,000 per hectare, on the other hand, the undergrowths are repeatedly weeded to make over 50% of relative light intensity on ground floor. When the stand will have developed and matured, it is adequate to adjust the mixture ratio of the number of Hinoki to the one of Akamatsu to be 2 to 1 respectively.

Judging from the accumulated amount of litter and raw humus (Δ_0 layer), it seems that the multi-storied mixture forest is more effective than the mono-storied pure forest of Hinoki for soil conservation.