

京都市近郊における天然生ヒノキ・アカマツ 混交林の林分構造と風致施業（続報）

赤井 龍男・岡本 憲和・渡辺 政俊・中井 勇

Amenity Management and Structure of Natural Regenerated
Mixture Forest of Akamatsu (*Pinus densiflora*) and Hinoki (*Chamae-
cyparis obtusa*) at Urban Fringe of Kyoto (Continued report)

Tatsuo AKAI, Tosikazu OKAMOTO, Masatoshi WATANABE and Isamu NAKAI

要 旨

京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地の二次林は、京都市街地の風致林として重要な地位にある。本報告はこの風致林に関する一連の研究として5年前に行なった間伐の影響による生産構造の変化と、更新の経過および保存林の構造について論議したものである。

上木の胸高直径の本数分布は間伐直後と同様ほぼ正規型で、階層構造にもほとんど変化がみられないが、アカマツの本数はマツ枯れによって著しく減少した。ヒノキの平均胸高直径は一部のプロットを除き1.4 cm前後増加したが、隣接木の側圧を受けていた優勢木が特に成長を促進した。またヒノキの胸高断面積合計は13～15%、林分材積は15～18%増加したが、アカマツを合わせると成長量は僅かであった。ヒノキ、アカマツを合わせた現在の林分葉量は8～10 ton/ha（乾重）で、この5年間に一部のプロットを除き1 ton/ha程度回復したが、マツ枯れによる林冠空隙の増加の影響もあって再閉鎖の速度は比較的遅いようであった。それ故林冠下の平均相対照度も1/5～1/2ほど低下したのみで、まだ6～10%程度の明るさを保っている。

間伐前年に除伐された広葉樹はそれほど密な状態ではないが、すべての調査地とも高さ1 m以下の下層植生として再生した。プロット25-Aで調査した結果、今回天然生のヒノキの当年生稚樹は約32,000本/ha発生し、間伐後更新した高さ20 cmまでの2年生以上の稚樹は約34,000本/ha成立している。それらの分布様式は小さい集団をもつ集中分布であった。アカマツの当年生稚樹は比較的少ないが、2年生以上の稚樹は約6,000本/ha成立し、しかも大きい集団をもつ集中分布を示した。ヒノキおよびアカマツの稚樹と上木のヒノキの分布相関は互にさけ合いの状態にあり、両方の稚樹はともに林冠の隙き間によく更新するようであった。一方、保存林の構造は、アカマツ、広葉樹の多いほかは間伐前の隣接調査地と変わらないが、後継稚樹はほとんど成立していなかった。

以上のことから判断して、風致的にはヒノキの大径木に多様な樹種が階層的に混交した複層林の方がヒノキ単層林より価値が高いと思われるので、今後稚樹の更新と成長に適した空間を維持するため、樹高幅程度の広がりをもつ群状択伐等の施業を取入れることは有効適切な手段であろう。

はじめに

本研究は、京都市街地北部の都市近郊林として風致的に重要性を高めつつある京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地の二次林の構造を解析し、風致施業のあり方について論議した前報¹⁾に引続き、間伐後5年目の林分構造と成長状態および下層植生やヒノキ稚樹の成立についてとりまとめたものである。なお、本施業の比較対象として隣接する保存林の現在の構造も解析した。

前報で述べたように、急速な都市化の進展にともなう緑の減少と都市環境の悪化は近年ますます深刻になり、都市域に組み入れられるようになってきた都市近郊の森林は、環境保全とレクリエーション機能の面からますます重要性を高めつつある。しかし都市近郊林として国土保全や風致上もっとも好ましい姿とか、またそれを具現させるための施業技術についてはいくつかの提言がある²⁾³⁾が、まだ明確な答えは出されていないといえよう。その一つの考え方として特に風致的に期待される都市近郊林は、市街地の公園、緑地とは異なり、まさに森林自然そのものであり、そのためには“より自然性”を指向した森林施業を取入れる必要のあることを前報で論議した。

本研究の対象地とした上賀茂試験地は、全域が風致地区に指定され各種の施業が法的に制限されているが、周辺の住宅開発が急速に進み、早晚都市林的性格を強めるようになってくると思われる。また、調査対象林分は60数年前に伐採された後、天然更新によって再生したヒノキ、アカマツを主とした混交複層林型⁴⁾⁵⁾の二次林であることから、“より自然性”を指向する都市近郊林として格好の研究材料といえる。現在まだ未成熟であるが、風致施業の一環として5年前行なった天然更新と保育のための間伐の効果について今回その途中経過をとりまとめた。今後さらに群状、帯状の皆伐あるいは択伐等多くの森林施業と試験研究を積み重ねる必要があるが、本研究が木材生産機能と国土保全および休養的機能とを調整する一つの指針として役立てば幸いである。

本研究は上賀茂試験地の主要研究の一つであり、本試験の実施に当たっては上賀茂試験地主任の古野東洲博士はじめ全教職員の協力を得た。本報告をとりまとめるにあたり関係各位に深謝の意を表したい。

1. 調査地および調査方法

調査林分は、京都大学上賀茂試験地の24、25、27林班で、気候、地形、土壌等の自然条件と施業の経過は前報に記した。その中で特筆すべきことは、土壌がすこぶる瘠悪な未熟土であることと、1922～1924年にアカマツの混交したヒノキ人工林が皆伐されたとき林内に更新していた天然生ヒノキ稚樹およびその後再生したアカマツや広葉樹が成長し成林した天然生林であることである。

今回の調査は1989年3月、前回設定した固定調査地において行なった。各プロットの大きさは25林班の凸形斜面の上部に設けたプロット25-Aと下部のプロット25-Bが25×25m、同じ25林班の凹形斜面に設けたプロット25-Cおよび24、27林班のプロットが20×20mである。さらにこれらの固定調査地とは別に、24林班の保存林内に16×16mの固定調査プロットを設けた。今回は新たに伸長成長した樹高2m以上の幼樹も含め、全立木の胸高直径を測定する一方、樹高30cm以上2mまでの稚樹(幼樹も含む)の成立位置と樹高も測定した。

さらにヒノキとアカマツの稚樹の分散構造を求めるため、プロット25-Aの中に16×16mの枠を設け、最小枠1×1m中に成立する当年生および2年生以上のそれぞれの稚樹の高さを測

定した。下層植生については上記プロット内において、各4×4 m 枠ごとに1×1 mの調査プロットを設け、下層植生の種類と高さを測定した。

一方、1989年7月、ミノルタデジタル照度計(T-1)の照度積分法によって各プロット内の相対照度をもとめた。また固定地点からの樹冠疎開度を撮影した。

2. 上層木の構造と現存量の推移

1984年の間伐直後と1989年現在の各調査プロット内における平均胸高直径(\bar{D})、平均樹高(\bar{H})およびhaあたりの立木本数と胸高断面積合計はTable 1に示したようである。ただし、樹高(H)は胸高直径(D)とHの相対成長関係¹⁾からもとめたものである。

プロット27を除き、すべてのプロットでヒノキの \bar{D} は1.4 cm前後成長している。プロット27

Table 1 Composition of upper stratum trees in each plot

Plot	Year	Species	Diameter (Mean±SD, cm)	Height (Mean±SD, m)	Density (no./ha)	Basal area (m ² /ha)
24	1984	<i>C. obtusa</i>	13.2±4.78	13.7±2.74	1,600	24.6
		<i>P. dens.</i>	15.2±4.82	14.0±2.24	150	3.0
Total				1,750	27.6	
1989	<i>C. obtusa</i>	14.6±5.05	14.4±2.55	1,530	28.5	
	<i>P. dens.</i>	13.5±2.98	13.3±1.61	75	1.1	
	Total			1,605	29.6	
25-A	1984	<i>C. obtusa</i>	12.0±4.74	12.5±2.82	1,840	24.0
		<i>P. dens.</i>	15.2±3.78	14.1±1.80	380	7.3
Total				2,220	31.3	
1989	<i>C. obtusa</i>	13.5±5.29	13.2±2.80	1,720	28.2	
	<i>P. dens.</i>	17.6±4.35	15.1±1.84	140	3.6	
	Total			1,860	31.8	
25-B	1984	<i>C. obtusa</i>	12.1±5.46	12.4±2.98	1,840	25.5
		<i>P. dens.</i>	28.4	18.6	20	1.3
Total				1,860	26.8	
1989	<i>C. obtusa</i>	13.6±6.12	13.1±3.17	1,720	30.0	
	<i>P. dens.</i>	—	—	0	—	
	Total			1,720	30.0	
25-C	1984	<i>C. obtusa</i>	14.3±5.19	14.3±2.33	1,250	22.6
		<i>P. dens.</i>	24.3±5.53	17.4±1.50	100	4.8
Total				1,350	27.4	
1989	<i>C. obtusa</i>	15.6±5.65	14.9±2.34	1,200	25.8	
	<i>P. dens.</i>	19.8	16.1	25	0.8	
	Total			1,225	26.6	
27	1984	<i>C. obtusa</i>	10.8±6.58	11.2±4.10	1,400	17.4
		<i>P. dens.</i>	15.8±4.25	14.3±1.85	350	7.3
Total				1,750	24.7	
1989	<i>C. obtusa</i>	11.3±7.45	11.3±4.44	1,400	20.1	
	<i>P. dens.</i>	17.0±5.25	14.8±1.97	225	5.5	
	Total			1,625	25.6	

Notes ; Data in 1984 indicate the measurement value immediately after thinning.

の \bar{D} はわずか0.5 cmしか成長していないが、ここは南東斜面で他のプロットと比較し、もともと \bar{D} や \bar{H} の小さいところである。アカマツはマツ枯れによる本数減少が著しいのでDの変動には一定の傾向がみられない。

各プロットにおける両年度のDの本数分布はFig. 1に示したようである。一般のヒノキ人工林に侵入した天然生アカマツとの混交林では、アカマツを上層階とした二段林になることが多いが^{8, 10-10)}、本林分ではもともとアカマツの成長が悪かったことと、特に大径のアカマツの多くがマツ枯れにより枯死したことで、両種の間の階層構造に分離がみられない。また間伐されたヒノキ人工林と異なり天然生ヒノキ林では普通Dの本数分布はL型^{8, 17)}であり、各調査林分もほぼその特徴を示していたが、間伐後はFig. 1のようにプロット27を除きほぼ正規型となった。そしてこの5年間の肥大成長の結果、それぞれ上位直径階に進んだ個体も多く、全体としてはより正規分布型が強調されるようになったといえる。なお27林班は小さい個体が多く、二山型の分布を示し、他のプロットとは著しい対比をみせている。これら各個体の成長特性については後述することにする。

間伐後の立木本数はTable 1から認められるように、ヒノキについては変化していないか、少し減少しているプロットとがある。これはこの5年間に枯死した本数と新しく2 m以上に成長した個体の本数の差し引きによる結果であるが、全体的には大きな変化はないといえよう。しかしアカマツは新しく加えられる小さい個体は全くなく、マツ枯れによる枯死木が多いので、その本数減少は著しい。この状態が続くと、プロット25-Bのようにアカマツが全く成立しない林分が増加するように思われ、風致上ばかりか、地力維持や天然更新の面からも問題が起ころう^{8, 18, 19)}。

胸高断面積合計は間伐前ヒノキのみでプロット27を除きhaあたりほぼ30~35 m²の範囲にあったが、材積率で14~29%の間伐を行なった結果、Table 1のように、すべてのプロットで25 m²/ha以下となった。しかしこの5年間にヒノキの胸高断面積合計は全プロットで13~15%も増加した。一方アカマツは前述のように本数減少が著しいので、その断面積合計はすべてのプロットにおいて減少している。したがってヒノキとアカマツを合わせた断面積合計についてはあまり変化していないプロットが多い。

haあたりの現存量は、前報でもとめた各部分量と $D^2 \cdot H$ との相対成長関係から推定し、Table 2に示した。林分材積は間伐前ヒノキとアカマツを合わせて27林班を除き320~370 m³/haであったが、間伐直後はほぼ210~240 m³/haになった。そして5年後の現在、ヒノキの林

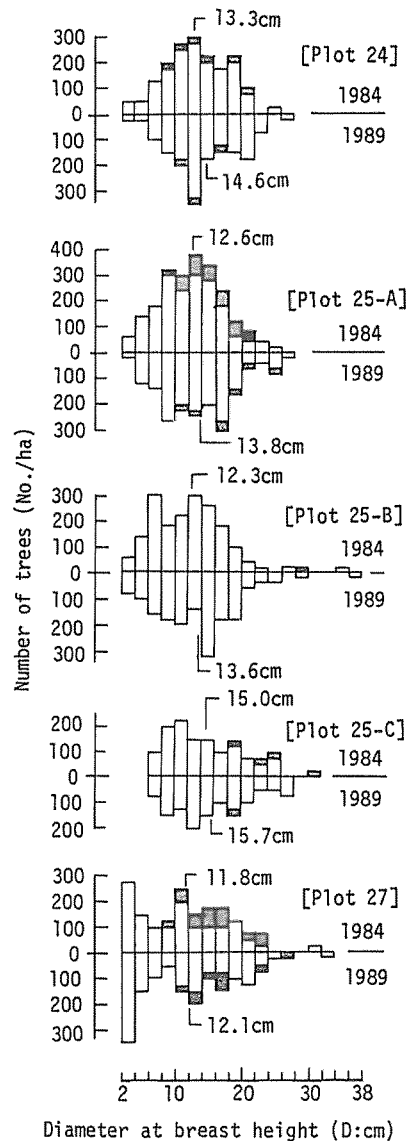


Fig. 1 Distribution of diameter at breast height of upper stratum trees in each plot in 1984 and 1989

□ *Chamaecyparis obtusa*
 ■ *Pinus densiflora*

Table 2 Biomass of upper stratum trees in each plot

Plot	Year	Species	Stem volume (m ³ /ha)	Stem dry weight (ton/ha)	Branch dry weight (ton/ha)	Leaf dry weight (ton/ha)
24	1984	<i>C. obtusa</i>	199.0	85.1	9.2	8.2
		<i>P. dens.</i>	23.1	11.0	0.9	0.5
		Total	222.1	96.1	10.1	8.7
	1989	<i>C. obtusa</i>	238.0	101.0	11.0	9.9
		<i>P. dens.</i>	7.9	3.8	0.2	0.2
		Total	245.9	104.8	11.2	10.1
25-A	1984	<i>C. obtusa</i>	183.0	78.3	8.4	7.5
		<i>P. dens.</i>	56.2	26.8	2.1	1.3
		Total	239.2	105.1	10.5	8.8
	1989	<i>C. obtusa</i>	223.0	95.0	10.4	9.2
		<i>P. dens.</i>	29.2	13.9	1.3	0.7
		Total	252.2	108.9	11.7	9.9
25-B	1984	<i>C. obtusa</i>	198.0	84.6	9.2	8.2
		<i>P. dens.</i>	12.2	5.8	0.8	0.4
		Total	210.2	90.4	10.0	8.6
	1989	<i>C. obtusa</i>	242.0	103.0	11.4	10.1
		<i>P. dens.</i>	—	—	—	—
		Total	242.0	103.0	11.4	10.1
25-C	1984	<i>C. obtusa</i>	188.0	80.2	8.8	7.9
		<i>P. dens.</i>	44.8	21.3	2.8	1.5
		Total	232.8	101.5	11.6	9.4
	1989	<i>C. obtusa</i>	220.0	93.3	10.4	9.2
		<i>P. dens.</i>	6.4	3.1	0.3	0.2
		Total	226.4	96.1	10.7	9.4
27	1984	<i>C. obtusa</i>	137.0	58.4	6.4	5.7
		<i>P. dens.</i>	57.6	27.5	2.4	1.4
		Total	194.6	85.9	8.8	7.1
	1989	<i>C. obtusa</i>	163.0	69.4	7.7	6.9
		<i>P. dens.</i>	45.5	21.7	2.2	1.2
		Total	208.5	91.1	9.9	8.1

Notes ; Data in 1984 indicate the measurement value immediately after thinning.

分材積はすべてのプロットにおいて15～18%増加したが、アカマツを含めた材積ではあまり増加の傾向はみられず、プロット25-Cのように減少した林分もある。これはTable 1で認められるように、アカマツの枯死が多く材積混交率が著しく低下したためで、プロット24、プロット25-Cのように混交率3%前後か、プロット25-Bのようにアカマツが0%になった林分もみられる。幹乾重も材積と同じ傾向を示している。

一方、ヒノキ、アカマツを合わせた葉乾重は間伐前27林班を除き12～14 ton/haで、他の地方のヒノキ、アカマツ混交複層林の値^{8,10,15)}とほぼ近似していたが、間伐によって9～10 ton/haほどに減少した。そしてこの5年間に各調査林分ともTable 2のようにプロット25-Cを除き1 ton程度回復したが、間伐前の閉鎖状態にもどるにはなお10年近い時間がかかるように思われる。このことは中層以下の個体の成長を促すほか、ヒノキ、アカマツ等の天然更新稚樹や下層植生の発生と成長をも促進することになろう。

3. ヒノキ単木の成長特性

一般に間伐によって個体間の競争は緩和され、残存木の成長は促進される。前述のように間伐後5年間でヒノキの \bar{D} あるいは胸高断面積合計は増大したが、各個体の成長についてはこれからは認識できない。Fig. 2は間伐直後(1984)と5年後(1989)の肥大成長の関係を D^2 によって示したものである。すなわち、これは5年間の各個体の胸高断面積の変化を意味している。もし肥大成長しなかった場合は係数1、指数1の直線(図中の破線)になる。また、大きさが異なっても D^2 の成長率が等しい場合は指数1の直線回帰をするはずである。しかし回帰式をもとめた結果、いずれのプロットにおいても対数曲線となり、それぞれFig. 2に示した近似式がえられ

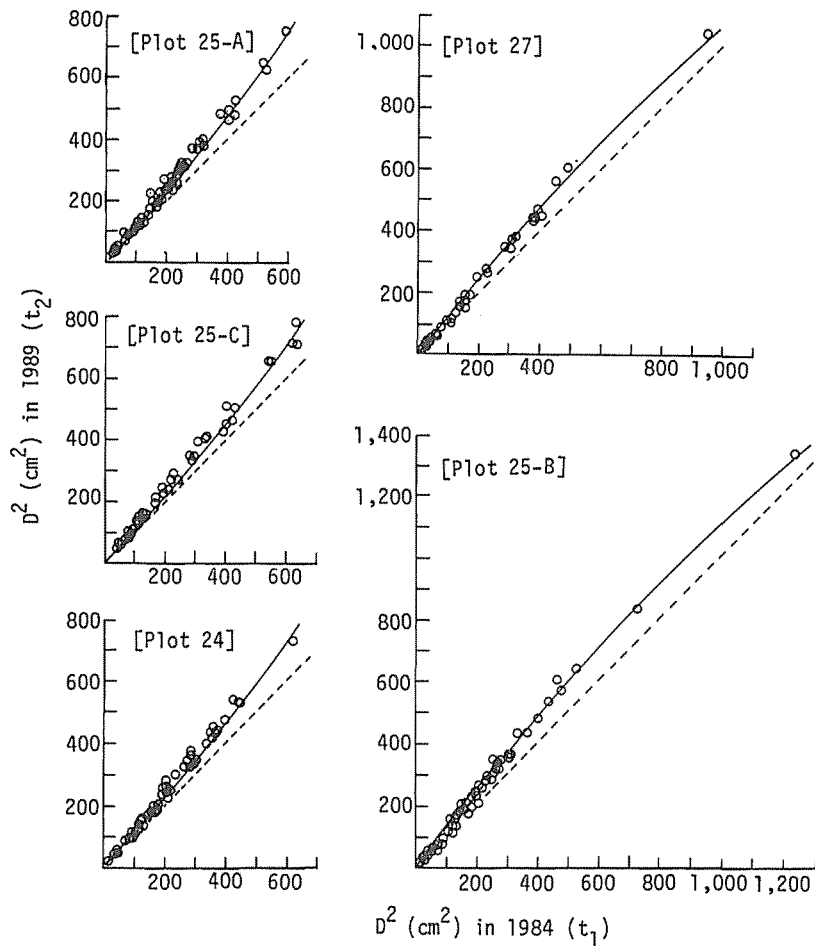


Fig. 2 Changes of basal area (D^2) growth for five years
Equations were as follows;

$$\text{Plot 25-A : } D^2_{t_2} = 0.9827 (D^2_{t_1})^{1.0345}$$

$$\text{Plot 25-C : } D^2_{t_2} = 0.9929 (D^2_{t_1})^{1.0260}$$

$$\text{Plot 24 : } D^2_{t_2} = 1.0169 (D^2_{t_1})^{1.0245}$$

$$\text{Plot 27 : } D^2_{t_2} = 1.6809 (D^2_{t_1})^{0.9365}$$

$$\text{Plot 25-B : } D^2_{t_2} = 1.4247 (D^2_{t_1})^{0.9620}$$

た。

各近似式から判断すると、プロット 24, 25-A および 25-C の指数は 1 より大きく、間伐によって上層の大きい優勢木ほど肥大成長がより促進されているようである。反対にプロット 25-B と 27 では、指数が 1 より小さく、上層の小さい個体、換言すれば準優勢木がより成長率を増大させ、D が 30 cm 以上の優勢木はむしろ成長率の低い傾向が認められる。このような大きい優勢木は隣接木からの側圧がもともと少ないためと思われるが、現在間伐後まだ 5 年目であるので、今後どのような成長経過をたどるか、継続して調査する必要がある。

いずれにしても間伐によって D が 20 ~ 25 cm 程度の上層木の成長がより促進されていることは、林分の成熟を早めることになり、風致上からも、木材生産上からも好ましいことといえよう。

4. 林冠閉鎖と林内環境の変化

前報に記したように、27 林班を除き、ヒノキ、アカマツを合わせた胸高断面積合計は 42 ~ 48 m^3/ha 、林分材積は 320 ~ 370 m^3/ha 、林分葉乾重は 12 ~ 14 ton/ha でほぼ閉鎖状態にあり、相対照度も 0.5% 前後を示していた林分が、材積率で 23 ~ 41% も間伐（天然更新法では下種伐）された結果、林冠は疎開し、林冠下（下層植生上）の平均相対照度は Table 3 に示したように、7 ~ 14% 程度、27 林班は約 15% とかなり明るくなった。

Table 3 Changes of relative light intensity under canopy in each plot (%)

Year	Plot	Thinning plot					Reserved forest plot
		24	25-A	25-B	25-C	27	
1984		13.5	7.4	11.3	12.9	15.3	0.47
1989		7.1	6.1	5.8	7.6	10.3	0.50

間伐後 5 年目にあたる 1989 年 7 月の林外照度が 105,000 ルックスの時の平均相対照度は Table 3 のようで、1984 年当時の相対照度に比し 1/5 ~ 1/2 前後低下した。しかし 65 年生ヒノキ人工造林地の間伐後 3 年で平均相対照度が半分近くまで低下した例²⁰⁾と比較し、低下率がやや小さいように思う。これは前述のように林分葉量の増加が 1 ton/ha 程度で、再開鎖の速度が比較的遅いことと関連があろう。

Fig. 3 はプロット 25-A の定点における上向写真で、間伐前とその直後そして間伐後 5 年目の林冠層の空隙をあらわしている。これからある程度理解されるように、間伐直後の空隙はどの定点のものも 5 年間にあまり埋っていない。すなわち上述のように林冠空隙への枝葉の拡大、成長は遅く、再開鎖までにはまだかなり時間がかかりそうである。さらに定点 II, III には間伐前すでにマツ枯れによって生じた空隙もあるが、定点 I-3 の左端および II-3 の右上のように、この 5 年間にマツ枯れにより新たに発生した空隙がみられる。このようなところはかえって明るくなっているはずであるので、プロット内全体の平均相対照度の低下率が Table 3 のように比較的小さいのも、前述の林分葉量の回復の遅い傾向とともに、その影響がかなりあるように思われた。なお、後述する保存林の平均相対照度はコンマ以下でほとんど変化していない。

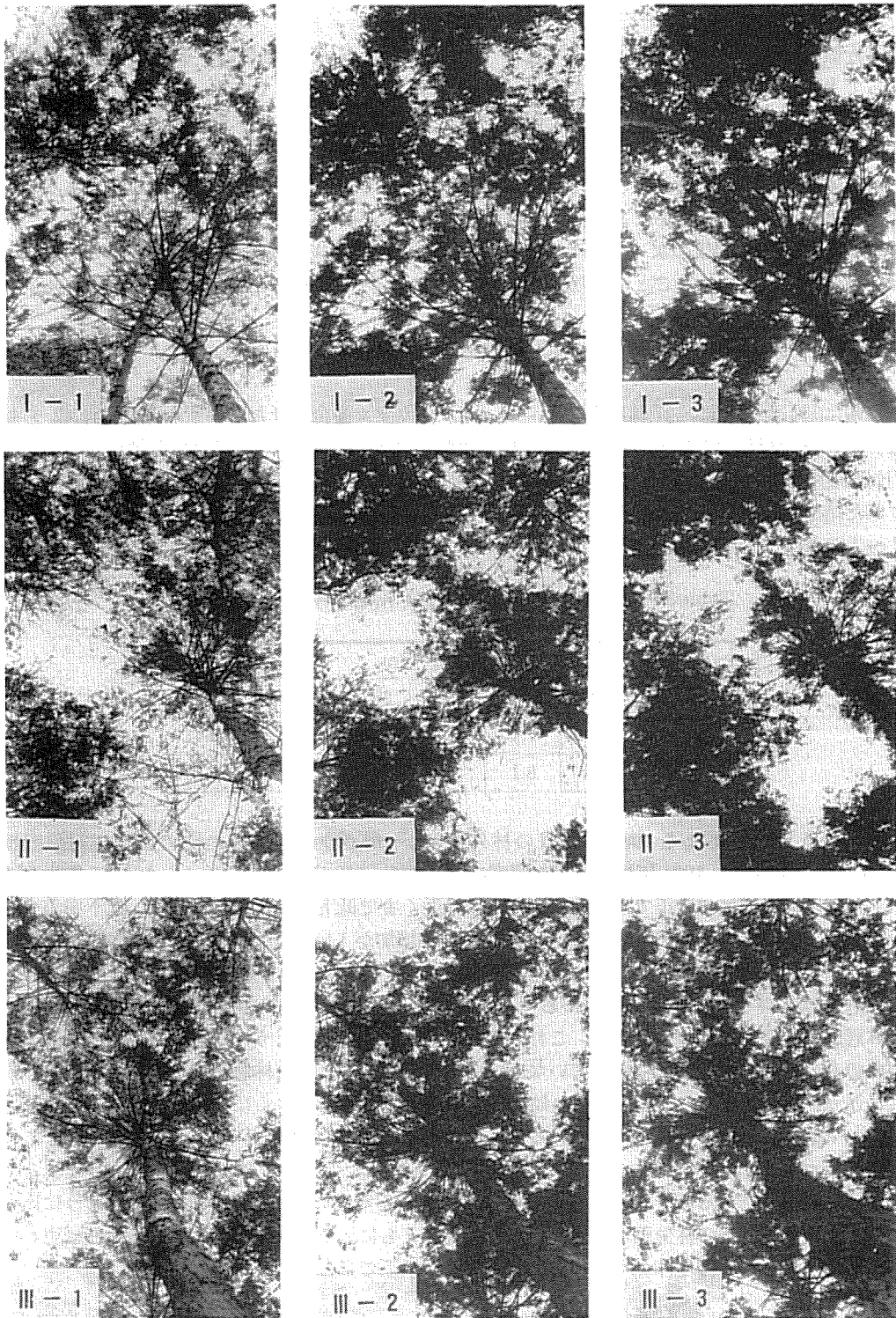


Fig. 3 Space of crown before thinning (1) in immediately after thinning (2) and after five years from thinning (3) at each fixed picture point (I, II, III) in Plot 25-A

5. 下層植生と稚樹の成立状態

上賀茂試験地の現在の二次林はすでに解析²¹⁾した林分あるいは後述の保存林のように、もともと天然生のヒノキ、アカマツを主体に広葉樹が上層から下層まで階層混交した複層林であった。広葉樹のうち、上、中層にはリョウブ、タカノツメ、コシアブラ、ネジキ等の落葉広葉樹と、アラカシ、ソヨゴ、カナメモチ、シャシャンボ等の常緑広葉樹が成立していた。1983年に天然生ヒノキ稚樹の発生、成立を促すために、すべての広葉樹を伐採した。その結果、前回の調査時には萌芽や下種によって再生した下層植生が散生するだけであった¹⁾。

間伐後5年目のプロット25-Aの16m²(1m²×16)中における下層植生の成立状態はTable 4のようであった。19種の木本のうち6種が常緑広葉樹で、他は落葉広葉樹である。また大半が低木性で高木性の広葉樹は著しく少ない。さらに林業上の有用広葉樹はアラカシ、コナラ、クリのみである。しかしコバノミツバツツジ、ヤマツツジ、アセビ等の花木や、ウスノキ、ヤマウルシ、ナツハゼ等秋の紅葉のきれいな風致的に価値のある低木類が比較的多い。これらの下層植生の現在の大きさはTable 4のように平均高で1m以下である。

下層植生の平面的な分布は、連続した調査枠でないので森下のI₀²²⁾等による分布様式は正確にはもとめられないが、2×2m枠でみるとほぼランダムに分布しているようである。このような下層植生の再生状態は他のプロットでもほぼ同様である。

プロット25-Aの中に設けた最小調査枠1×1mで16×16m枠中に発生、成立するヒノキとアカマツの当年生稚樹と2年生以上の稚樹(2m高までの幼樹も含む)の高さ別の本数はTable 5のようであった。当年生の稚樹はヒノキがhaあたり30,000本を越え、また本数は少な

Table 4 Number and mean height of undergrowth in Plot 25-A

Species		Number of trees (no./ha)	Mean height (cm)	
ウ	スノキ	<i>Vaccinium hirtum</i> THUNB.	119,000	38.8
	コバノミツバツツジ	<i>Rhododendron reticulatum</i> D. DON	22,500	55.9
ヤ	マウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i> MIQ.	18,100	49.3
○サ	カキ	<i>Cleyera ochracea</i> DC.	10,000	35.1
ヤ	マツツジ	<i>Rhododendron kaempferi</i> PLANCH.	8,750	24.3
○ア	セビ	<i>Pieris japonica</i> D. DON	8,130	25.4
	コシアブラ	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> FRANCH. et SAV.	5,630	39.4
	ネジキ	<i>Lyonia neziki</i> NAKAI et HARA	5,000	79.4
	タカノツメ	<i>Evodiopanax innovans</i> NAKAI	4,380	43.6
○ソ	ヨゴ	<i>Ilex pedunculosa</i> MIQ.	4,380	26.0
○ヒ	サカキ	<i>Eurya japonica</i> THUNB.	1,880	46.7
○ア	ラカシ	<i>Quercus glauca</i> THUNB.	1,250	15.0
	コックバネウツギ	<i>Abelia serrata</i> SIEB. et ZUCC.	1,250	37.5
○イ	ヌツゲ	<i>Ilex crenata</i> THUNB.	1,250	37.5
	クロモジ	<i>Benzoïn umbellatum</i> REHD.	625	100.0
	コナラ	<i>Quercus serrata</i> THUNB.	625	60.0
	クリ	<i>Castanea crenata</i> S. et Z.	625	72.0
	ナツハゼ	<i>Vaccinium oldhami</i> MIQ.	625	30.0
	コシダ	<i>Gleichenia dichotoma</i> HOOK.	71,900	17.4
	サルトリイバラ	<i>Smilax china</i> L.	6,880	31.4

○: Evergreen broad leaved trees

いものアカマツも 1,000 本以上発生しているが、除間伐の行なわれる以前はほとんどみられなかった²¹⁾ことから判断すると、広葉樹の除伐やヒノキ、アカマツの間伐による林床の明るさの増加がこれら当年生稚樹の発生に影響したものと考えられる。また 2 年生以上の稚樹のうち 30 cm 高以上のヒノキは除間伐時以前から成立していたものと思われる。2 年生以上の稚樹でもっとも多いのは 10 cm 高までの小さい稚樹で、ヒノキは 34,000 本/ha、アカマツも 5,000 本/ha を越え、多数の稚樹が成立するようになった。この結果からも除間伐による林冠疎開でもたらされた林内陽光量の増加の影響が認められよう。

これら稚樹の分散様式を森下の I_{δ} (分散指数) と枠サイズとの関係で示すと Fig. 4 のよ

うであった。まずヒノキの稚樹は当年生、2 年生以上のいずれも小さい集団 (集中斑) をもつ集中分布で、さらにこれらの稚樹集団自体は前回の解析結果²¹⁾から判断してほぼランダム分布であろう。このことはヒノキ稚樹の成立できるある広さの最適空間がランダムに存在することを意味している。換言するとそれ以外では更新が困難であることを示していると考えられる。ヒノキ天然更新にとって最適の空間は 6 年前の除伐と 5 年前の間伐によって与えられたものである。したがってヒノキの天然生稚樹の発生、成立は一応その目的を達したといえよう。

なおヒノキ稚樹の I_{δ} 値はいずれの枠サイズでも 2 年生以上の方が大きく、当年生稚樹より集中性がより高いようである。このことは発芽後間もない当年生稚樹は、陽光等の不適な環境下では成立できず成長段階が進むに従ってより集中性を高める方向に本数調整されることを意味している。前報では 30 cm 高以上 2 m 未満の幼樹を含むヒノキの稚樹について全プロット内の分散様式を解析したが、成立本数が少なかったものの今回と同様集中分布を示していた。

アカマツについては当年生稚樹は Fig. 4 に示したように発生本数が少ないものの、ヒノキと同様小さい集団をもつ集中分布である。しかし 2 年生以上の稚樹は大きい集団をもつ集中分布であることを示している。これはアカマツは極陽性樹種であるので、少なくとも 20 cm 高程度にまで成長するには、林冠に上層木の 1 個体分以上の空隙がないと成立できないことを意味していると思われる。すなわちアカマツ稚樹はヒノキより広い最適空間が必要であるといえよう。

ヒノキとアカマツを合わせた全稚樹の分布様式は個体数の多いヒノキの分布に吸収されてすべて小さい集団をもつ集中分布となっている。

このように当年生稚樹と 2 年生以上の稚樹はそれぞれ特徴のある集中分布をしているが、それ

Table 5 Living numbers of seedlings by each height class in Plot 25-A (no./ha)

Species	1-year-old seedling	Height class of seedlings (cm)			
		~10	~20	~30	30~
<i>C. obtusa</i>	32,000	34,000	200	0	1,100
<i>P. dens.</i>	1,100	5,200	700	78	0
Total	33,100	39,200	900	78	1,100

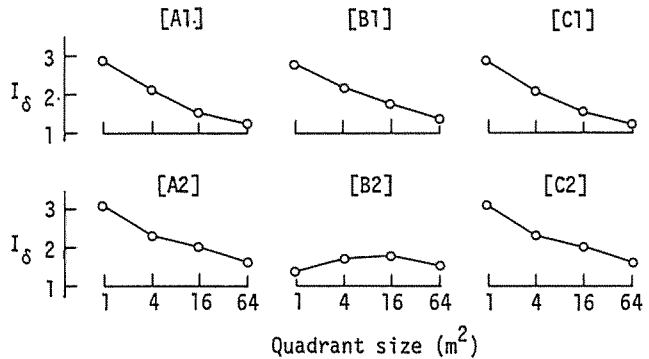


Fig. 4 I_{δ} ~ quadrant size relations of population in Plot 25-A

A: *Chamaecyparis obtusa*, B: *Pinus densiflora* and C: Both species

1: 1-year-old seedlings, 2: seedlings over two years

それぞれの稚樹群の空間的な配置はどのようになっているのか、集団間の分布相関を改正された森下の指数 R_{δ}^{22} によって解析してみた。Fig. 5 は上述の同じ 16×16 m 枠内における R_{δ}^{22} ~ 枠サイズの関係を示したものである。図から認められるように、ヒノキ、アカマツとも当年生稚樹と2年生以上の稚樹の R_{δ}^{22} は正の相関があり、同じ空間に成立していることがわかる。特にアカマツは共存の傾向が強い。これは耐陰性の違いによるものと考えられ、より耐陰性の高いヒノキの当年生稚樹は多少暗いところでも発生できることによるものであろう。しかし成長に必要な最適空間はより限定的になると思われる。

集中分布するヒノキおよびアカマツの天然生稚樹の発生、成立に適した空間は、土壤条件が等しい場合主として林冠の疎開、

すなわち空隙によってもたらされる光条件に支配される。したがって直立する上木と林床上の稚樹の階層間の分布相関を解析すればよい。Fig. 6 は立木の大多数であるヒノキの上木と当年生、2年生以上を合わせた稚樹との R_{δ}^{22} を枠サイズごとに示したものである。ヒノキ、アカマツおよび両者を合わせた稚樹ともヒノキ上木との間には負の相関が認められ、稚樹と上木は互いにさけ合いの状態にあるようである。すなわちヒノキやアカマツの稚樹はヒノキの上木の樹冠下をさけ、成長に適した林冠の隙き間に成立しているといえる。この傾向はこれまでの調査結果²¹⁾と同様である。一方、ヒノキ稚樹と下層植生の分布相関は、後者の調査枠が連続していないので問題はあがるが、観察による判断も加えると常緑広葉樹とは明らかにさけ合いの状態にあるようである。しかし落葉広葉樹とはあまり大きな相関はなさそうで独立に分布する傾向が認められる。

以上のように間伐後5年間で下層植生は比較的多く再生し、アカマツの稚樹はまだ僅かであるがヒノキの稚樹は著しく多く成立するようになった。しかもそれら針葉樹の稚樹は間伐やマツ枯れによって生じた林冠の隙き間に、またヒノキ稚樹はアカマツ上木の直下にも成立している。しかしこれらの稚樹が現在の主林木のヒノキやアカマツの後継樹としてこのまま育つかどうか、多くの懸念がある。したがって上層木の成長、林冠の再閉鎖の状態に応じ、今後間伐や下層植生の本数調整等適切な施業を加える必要があると思われた。

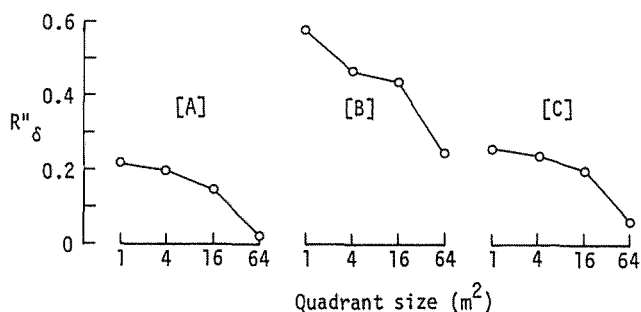


Fig. 5 R_{δ}^{22} ~ quadrant size relations between 1-year-old seedlings and seedlings over two years in each species

A: *Chamaecyparis obtusa* seedlings, B: *Pinus densiflora* seedlings and C: All seedlings

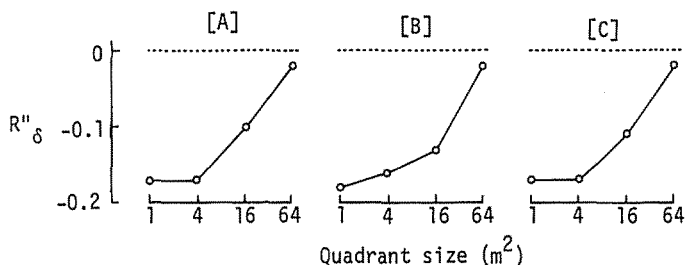


Fig. 6 R_{δ}^{22} ~ quadrant size relations between *Chamaecyparis obtusa* of upper stratum and each seedlings in Plot 25-A

A, B, C are followed in Fig. 5.

6. 保存林の構造

上賀茂試験地に現存する二次林のうち、23、24林班には学術参考林のため天然生林の状態での保存林が2.4 ha設定されている。前述した調査地の24林班上部（調査プロット24付近）および26林班下部における除伐、間伐前の1975年当時の林分構造と二次遷移については、すでに報告²¹⁾したとおりであるが、今回、長期の天然林施業および風致施業の比較対象の便に供する目的で、24林班の保存林内に新たな固定調査地を設けたので、その構造について概説しておく。

保存林内の調査プロットにおける樹高5 m以上の \bar{D} 、 \bar{H} 、立木本数、胸高断面積合計および前述の相対成長関係から求めた林分現存量はTable 6のようであった。本調査地に隣接する固定プロット24付近の1975年当時における調査資料²¹⁾と比較すると、 \bar{D} および \bar{H} は1975年当時よりヒノキでそれぞれ26%と46%、アカマツで25%、62%増加している。これは各個体の成長のほか、主として下層木がヒノキで約40%、アカマツで約22%本数減少したことも平均値の押し上げに作用したものである。

Table 6 Composition and biomass of upper stratum trees in plot of reserved forest

Species	Diameter (Mean±SD, cm)	Height (Mean±SD, m)	Density (no./ha)	Basal area (m ² /ha)	Stem volume (m ³ /ha)	Stem dry weight (ton/ha)	Branch dry weight (ton/ha)	Leaf dry weight (ton/ha)
<i>C. obtusa</i>	11.8±4.53	12.4±2.42	2,770	34.8	262	113.0	12.1	10.8
<i>P. dens.</i>	21.9±6.86	16.4±2.13	547	22.4	205	97.3	13.0	6.7
<i>B. L. trees</i>	2.6±0.17	5.2±0.29	156	0.3	—	—	—	—
Total			3,473	57.3	467	210.3	25.1	17.5

1975年当時のヒノキだけの胸高断面積合計は、35.1 m²/haで、10年後の間伐前および現在とほとんど差がない。しかしアカマツは場所によりマツ枯れによる差が著しいため林分量にも大きな違いがみられる。Table 6から認められるように、この保存林内の調査プロット付近は特にアカマツの混交率が高く、断面積比率で約40%になっている。したがって林分材積や林分葉量は間伐前のすべての調査プロットより明らかに多い。しかし樹高5 m以上の広葉樹は比較的少ない。

調査プロット内における樹高分布はFig. 7のようで、1984年当時の24、25林班における間伐前の分布型に類似し、ほぼL型分布を示している。一方調査地内の下層植生

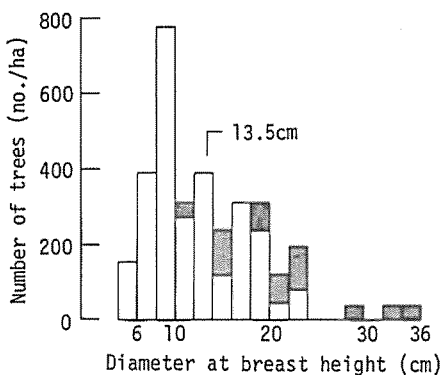


Fig. 7 Distribution of diameter at breast height of upper stratum trees in plot of reserved forest in 1989. Simbles are shown by Fig. 1.

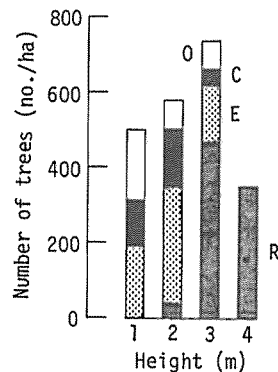


Fig. 8 Height distribution of broad leaved trees in non-thinning plot in 1989. R: *Rhododendron reticulatum*, E: *Eurya japonica*, C: *Cleyera ochracea*, O: Others

は Fig. 8 に示したように、除伐が行なわれていないためかなり多く、しかもヒサカキ、サカキ等の常緑広葉樹がよく成立している。このためアカマツの混交率が高いのに地床上の平均相対照度は Table 3 のように著しく小さく、アカマツは勿論ヒノキの稚樹はほとんど成立していない。

なおヒノキ、アカマツともその分布様式はすべてランダム分布で他の調査プロットにおけるこれまでの解析と同様であった。

以上のように手入れをしていない二次林は、比較的林分現存量も多く、ヤブツバキやツツジ類のような花木も成立するが、上木を構成するヒノキやアカマツの後継稚樹は育っていない。上賀茂試験地における永続的な都市近郊林としての好ましい林型がヒノキ、アカマツを主体にそれらの後継樹を含む多様な大きさの林木と樹種を混交した複層林にあるならば、ヒノキ、アカマツおよび広葉樹の更新をも目的とした風致施業が必要である。したがってこの保存林は木材生産機能と風致的な機能との調整を解明するための対照林分として、大きな役割をになっているといえよう。

おわりに—風致施業としての保育と更新

本研究ははじめに述べたように、都市近郊林としての性格をもつ上賀茂試験地の二次林において、風致的な価値をより高め、また木材生産機能も合わせ発揮できるよう個体の成長促進と、ヒノキやアカマツの後継樹の天然更新を目的として行なった5年前の間伐の効果を主に解析したものであるが、上層木の肥大成長の促進、ヒノキ、アカマツ稚樹の発生、成立等、一応風致施業に関する初期の目的は達せられたと判断される。しかしアカマツはマツ枯れにより年々減少し、また、かつて中、上層に混交していた広葉樹は保存林以外すべて除伐されてしまったので、次第にヒノキの純林状態になりつつあり、風致的価値は低下してきたのではないかと懸念される。これは地力維持の面からも好ましい姿ではない²³⁾。

都市近郊林としての風致上からは、隣接の保存林のように、より自然性を保つアカマツや広葉樹の混交林に価値があるとすれば、ヒノキに加え多様な樹種の永続的な育成を考慮しなければならないであろう。幸いヒノキやアカマツの天然生稚樹は林冠の隙き間に集中分布して成立するようになった。しかし林分の成熟にともない、これらの稚樹が後継樹として育つ保障はない。特にアカマツの稚樹は比較的広い空間に集団的に成立する傾向がある。したがって樹高幅程度の広がりをもった群状もしくは帯状の択伐、漸伐あるいは皆伐作業を取入れることはアカマツばかりかヒノキの稚樹の成長にきわめて有効であろう。

一方、広葉樹の再生は林内であるので比較的遅いようであるが、花果、紅葉等風致的に好ましい下木類や林業的に有用な広葉樹は当初から努めて育成し、ヒノキ、アカマツの稚樹、幼樹の成長を妨げる他の広葉樹のみ適宜除伐すれば、都市近郊林としてすぐれた混交複層林になるであろう。

このようにして将来、上賀茂試験地に大径木から小径木のヒノキやアカマツ、広葉樹が群状もしくは単木的に混交した複層林が形成され、それが多くの市民の憩いの森となるよう期待するとともに、この研究を通じ適切な風致施業の技術体系が確立されるよう願っている。

引用文献

- 1) 赤井龍男・中井 勇・岡本憲和・渡辺政俊：京都市近郊における天然生ヒノキ・アカマツ混交林の林分構造と風致施業。京大演報。57。128～142。1986
- 2) 岡崎文彬：森林風致施業とレクリエーション。日本林業調査会。1970

- 3) 畑野健一訳: 森林の風致保育と休養対策. 日本林業技術協会. 1971 (原文 ZUNDEL R. und D. KETTLER: Landschaftspflege und Erholungsmassnahmen im Welde. 1970)
- 4) 松尾兎洋: 環境林業 森林の効用研究シリーズ. 森林科学調査会. 1971
- 5) 林業経営研究所: 都市林. 農林出版. 1972
- 6) 片岡秀夫: 森林の景観施業. 日本林業調査会. 1974
- 7) HOCKENJOS F: Unser Wald 1967
- 8) 赤井龍男・吉村健二郎・真鍋逸平・上田晋之助・本城尚正: 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. 京大演報 55. 63-79, 1983
- 9) 赤井龍男・吉村健二郎・真鍋逸平・上田晋之助・本城尚正: 混交複層林の構造と造成法(2) 植栽スギと天然生スギ, ヒノキ, アカマツ, 広葉樹の階層混交について. 京大演報 58. 105-124, 1986
- 10) 日本林業技術協会: 複層林の施業技術. 1982
- 11) 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(1) 物質生産と分解速度について. 日林誌 64(9). 331-339, 1982
- 12) 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. 225-245, 1954
- 13) 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段林形成. 鳥取林試研報 6. 5-8, 1963
- 14) 白間純雄: 森林の取扱いに関する研究(II) 鳥取林試研報 13. 1-8, 1970
- 15) 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段林の成長と物質生産 85回日林講. 167-169, 1974
- 16) 早稲田収也: 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
- 17) 四手井綱英・赤井龍男・齋藤秀樹・河原輝彦: ヒノキ林—その生態と天然更新. 地球社. 375 pp., 1974
- 18) 赤井龍男・吉村健二郎・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. 92回日林論. 221-222, 1981
- 19) 赤井龍男・吉村健二郎・古野東洲・上田晋之助: クロマツ人工林に天然生ヒノキ, アカマツ, 広葉樹の階層混交した複層林の構造. 京大演報 60. 77-90, 1988
- 20) 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. 92回日林論. 255-257, 1978
- 21) 赤井龍男・坂上俊郎・大野次郎: アカマツ, ヒノキ, 広葉樹混交林と二次遷移. 京大演報 49. 64-80, 1977
- 22) MORISITA, M.: Composition of the I δ -index. Res. Pop. Ecol. 13. 1-27, 1971
- 23) 赤井龍男・吉村健二郎・片桐成夫・上田晋之助: 人工降雨によるヒノキ林内の落葉, 土壌の流出移動について(V-IX). 93回日林論. 345-356, 1982

Résumé

The secondary forest of Kamigamo Experimental Forest Station affiliated with Kyoto University is situated on an important amenity forest of the urban fringe of Kyoto. This paper, which belongs to a series of studies related to the amenity forest, discusses the transition of the growing structure and the regenerating process effected by thinning earlier than five years ago, in addition to the structure of reserved forest neighbouring research stands.

The number distribution of the diameter of upper stratum trees mixed Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) with Akamatsu (*Pinus densiflora*) resembled that of the normal type which was identical to form immediately after thinning (Fig. 1) and the stratum structure was not much changed. However, the numbers of Akamatsu extremely decreased from the withering by pine wood nematodes. The average diameter at breast height of Hinoki increased about 1.4 cm, except for one plot (Table 1), and especially the diameter growth of dominant trees which had suffered lateral pressure by neighboring trees was promoted than other trees (Fig. 2). Then, although the basal area and the stem volume of Hinoki increased in 13-

15 % and 15 ~ 18 % respectively, the increment of the stand volume included Akamatsu with Hinoki was a little (Table 1, 2).

The existing biomass of foliage included Hinoki and Akamatsu was 8 ~ 10 ton/ha (dry weight) and the foliage has been recovered about 1 ton/ha during five years, except for a plot. However, the re-closure of crown seemed to be comparatively slow due to the increase of the gap by the pine withering (Fig. 3). Therefore, the average relative light intensity under canopy dropped about $1/5 \sim 1/2$ only and the mean value is still kept in 6 ~ 10% (Table 3).

In every research stand, the broad leaved trees which were removed at the previous year of thinning reproduced sparsely as the undergrowth less than 1 m in their height (Table 4). In the result investigated on Plot 25-A, the 1-year-old seedlings of natural Hinoki regenerated at about 32,000 per hectare, and the seedlings over two years at less than 20 cm in height which have been regenerated after thinning established at about 34,000 (Table 5). Their distributional patterns showed a contagious distribution having small clumps (Fig. 4). The 1-year-old seedlings of Akamatsu were few, but the number of seedlings over two years old was about 6,000 per hectare (Table 5). Then, they were distributed contagiously having large clumps (Fig. 4). As the result of the analysis of the interspecific correlation by MORISITA, Hinoki seedlings or Akamatsu seedlings an upper stratum trees of Hinoki was dispersed in such a state to be repulsive to each other (Fig. 6), thus it seemed that their seedlings were able to regenerate well in the gap of crown.

On the other hand, the structure of the reserved forst was similar the neighbouring reserach stand before thinning except that there were much Akamatsu and broad leved tree (Table 6, Fig.7, 8), further, the succeeded seedlings of Hinoki and Akamatsu established in forest floor few.

Judging from the above mentioned, it seems that the multi-storied stand stratified mixed large sized Hinoki with various species can be more highly evaluated than the pure stand of Hinoki for amenity forest. Therefore, the silvicultural system such as the group selection system having a width as tree height must be effective and appropriate to sustain a gap of crown for regeneration and growth of various seedlings.