

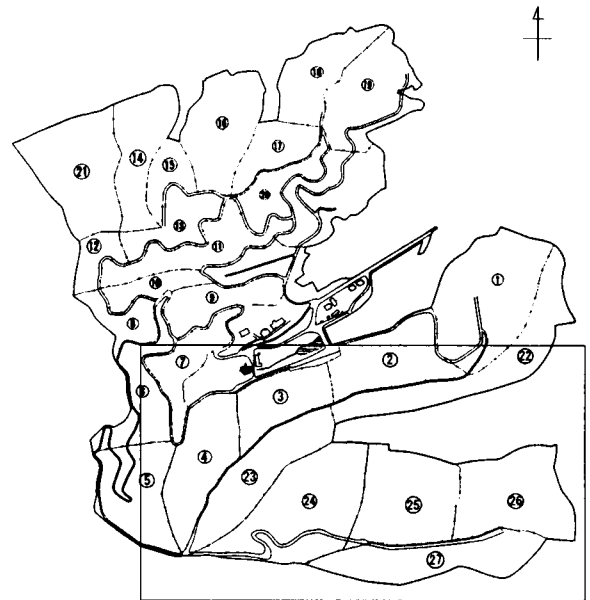
上賀茂試験地における天然生ヒノキの立木幹材積表の作成とその成長過程

柳本 順・柴田 泰征・平井 岳志
橋田 理也子・中川 智之・柴田 昌三

本研究は京都大学上賀茂試験地における天然生ヒノキ林に適用する立木幹材積表の作成及び天然生ヒノキ林の成長過程について解明することを試みたものである。現行の立木幹材積表の適合性の検定を行ったところ、適合しないことが明らかになった。そこで、6種類の材積式について精度を比較した結果、Stoate式の精度が最も高く、これを用いて材積表を作成した。また、天然生ヒノキ林は約60年から80年前に伐採され、その後放置された二次林で、伐採前すでに林内に更新していたヒノキの稚樹が成長した林分であることが推測された。現在はヒノキが過密な状態にあり、肥大成長が悪いことがわかった。

I はじめに

上賀茂試験地（以下、試験地という）には23林班から27林班にかけて天然生ヒノキ林が分布している。現在、試験地では天然生ヒノキの材積を求めるために中井ら⁵⁾の作成した天然生ヒノキ材積表（以下、旧材積表という）を利用している。この旧材積表は平均胸高直径10.4cm、平均樹高10.82mの間伐材を区分求積し作成したものである。現在、試験地の23林班から27林班に分布する天然生ヒノキ林は成長し、15cm以上のヒノキが林分の大半を占めている。そのため、旧材積表で15cm以上のヒノキの材積を求めるのは不適切と考え、新たに材積表を作成した。資料は23林班の天然生ヒノキ林から15cm以上のヒノキを伐採したものを用い区分求積した。また、その内のヒノキ10本について樹幹解析を行い、天然生ヒノキ林の動態についても検討した。



II 調査地の概要と資料の採取方法

試験地の23林班は北東へ延びた尾根の南東斜面に位置する（図-1）。地質は古生層で、母岩は砂岩及び粘板岩からなっている。土壌型はB_A～B_Dに属し、理化学性が著しく劣る痩せ地である。ここは1958年に国有林から京都大学に所管替えがあり、試験地となった。試験地設定前の23林班の林況についての正確な資料はないが、赤井らは23林班に隣接する24～27林班にかけては皆伐に近い伐採が行われ、更新は天然更新によって行われたアカマツ二次林と報告している¹⁾²⁾。このことから隣接する23林班も同様に天然更新によるアカマツ二次林であったと考えられる。試験地

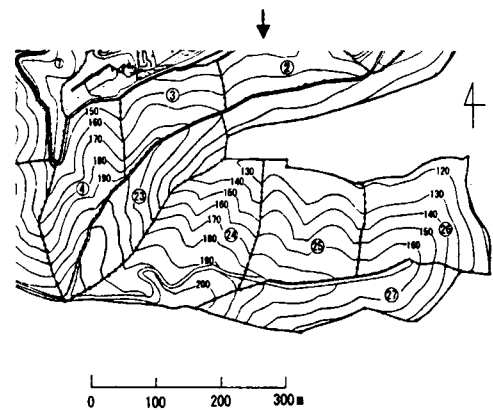


図-1 位置図

YANAGIMOTO, Jun · SHIBATA, Yasuyuki · HIRAI, Takeshi · HASHIDA, Riyako · NAKAGAWA, Tomoyuki · SHIBATA, Shozo
Construction of the volume table and succession for secondary forest of Hinoki in Kamigamo experimental forest

キーワード：上賀茂試験地，天然生林，ヒノキ，材積表，樹幹解析

Key words : Kamigamo experimental forest, secondary forest, Hinoki, volume table, stem analysis

設定以降 50 年間近くは特に施業はされず放置されてきた。1970 年以降、高木層を占めていたアカマツがマツ枯れにより激減し現在はヒノキが高木層を占めている。1999 年に柴田らが 23 林班の斜面上部、中部、下部の 3 箇所に調査プロットを設定した。調査プロットの大きさは上部が 30m×30m、中部が 30m×20m、下部が 15m×40m である。胸高直径 0.1cm 以上の樹種は、すべて胸高直径を測定した。全プロットの調査結果合計を表-1 に示す。総樹種数は 30 種であった。本数はコバノミツバツツジが約 3 割の 621 本で、以下、ヒノキ 505 本、ヒサカキ 438 本、ヤブツバキ 180 本と続く。胸高断面積ではヒノキが約 8 割を占めている。その他、コナラ 6.0%、アカマツ 3.6%、ヤブツバキ 2.4%

表-1 23 林班全プロット調査結果

樹種	本数	%	ha 当りの本数	胸高断面積 合計	%
アオハダ	4	0.18	19.05	60.73	0.01
アカマツ	15	0.67	71.43	17,714.63	3.63
アセビ	17	0.76	80.95	300.70	0.06
アラカシ	40	1.80	190.48	8,875.04	1.82
カナメモチ	3	0.13	14.29	40.72	0.01
クロバイ	5	0.22	23.81	154.77	0.03
クロモジ	2	0.09	9.52	3.18	0.00
コシアブラ	14	0.63	66.67	4,259.76	0.87
コナラ	13	0.58	61.90	29,308.57	6.00
コバノガマズミ	1	0.04	4.76	4.91	0.00
コバノミツバツツジ	621	27.91	2,957.14	7,901.54	1.62
サカキ	84	3.78	400.00	1,272.83	0.26
シキミ	15	0.67	71.43	304.98	0.06
シャシャンボ	3	0.13	14.29	26.71	0.01
スダジイ	3	0.13	14.29	71.84	0.01
ソヨゴ	16	0.72	76.19	2,376.18	0.49
タカノツメ	26	1.17	123.81	807.89	0.17
ツブラジイ	1	0.04	4.76	98.47	0.02
ナツハゼ	2	0.09	9.52	17.87	0.00
ネジキ	165	7.42	785.71	3,741.96	0.77
ヒイラギ	1	0.04	4.76	66.44	0.01
ヒサカキ	438	19.69	2,085.71	7,772.52	1.59
ヒノキ	505	22.70	2,404.76	388,877.57	79.58
フジ	8	0.36	38.10	463.18	0.09
マルバアオダモ	1	0.04	4.76	4.52	0.00
モチツツジ	28	1.26	133.33	173.70	0.04
ヤブツバキ	180	8.09	857.14	11,881.69	2.43
ヤマウルシ	4	0.18	19.05	211.22	0.04
リョウブ	9	0.40	42.86	1,877.91	0.38
リンボク	1	0.04	4.76	4.52	0.00
総計	2,225	100	10,599.73	488,676.56	100

となっている。この調査から現在の林況は、高木層はヒノキを主としており、下木層にはコバノミツバツツジ、ヒサカキ等が優占しているヒノキ二次林であることがわかる。

資料は 23 林班の天然生ヒノキ林を対象に胸高直径が 15cm 以上の天然生ヒノキを 40 本伐採し、計測した。平均直径は 24.7cm、平均樹高 17.2m であった。胸高は 1.2m とし、伐採木の 0m、0.2m、1.2m、2.2m (以下 2m ごと) の直径を測り、先端までの長さが 3m 未満になった場合は 1m の位置の直径を測った。0m から 0.2m までの幹足部材積はスマリアン式、その上の欠頂部材積はフーバー式、そして梢端部を円錐体の公式で求めた。

樹幹解析は 0m、0.2m、1.2m、2.2m (以下 2m ごと) の円板を採取した。先端までの長さが 3m 未満になった場合は 1m 上の円盤を採取した。円板上で 5 年ごとの年輪幅を計った。5 年ごとの樹高と材積について、総成長量、定期成長量、連年成長量、総平均成長量を算出した⁶⁾。

III 材積表の作成

収集した 40 本の区分求積資料が旧材積表に適合するかを検討するために、大友³⁾による検定を行った。区分求積で求めた材積を x、旧材積表から求めた材積を Y として次式を当てはめた。

$$Y = a + bx$$

両材積が一致すれば、 $Y = x$ すなわち $a = 0$ 、 $b = 1$ となり、旧材積表を用いることができる。そこで、帰無仮説 $a = 0$ 、 $b = 1$ を F 検定で検討した。

$$F = \frac{(n-2)[n(\hat{a}-a)^2 + 2\sum x(\hat{a}-a)(\hat{b}-b) + \sum x^2(\hat{b}-b)^2]}{2\sum(Y-\hat{a}-\hat{b}x)^2}$$

F 検定の結果、

$$F = 96.069 > F_{40}^{2}(0.05) = 3.23$$

となり、危険率 5% で F の値は有意となり、帰無仮説は成立しない。このことから旧材積表は偏った値を与えることから新たに材積表を作成した。

本調査では新たに収集した 40 本に旧材積表作成時の資料 226 本を加え、計 266 本に関する資料を用いて材積表を作成した。資料の胸高直径と樹高の関係を図-2 に示す。これら資料をもとに最も適した材積式を検討した。検討に供した材積式は以下の 6 式である。

- 1 山本式 $V = aD^bH^c$
- 2 対数変数結合式 $V = a(D^2H)^b$
- 3 Stoa 式 $V = a + bD^2 + cD^2H + dH$
- 4 対数式 $V = aD^b$

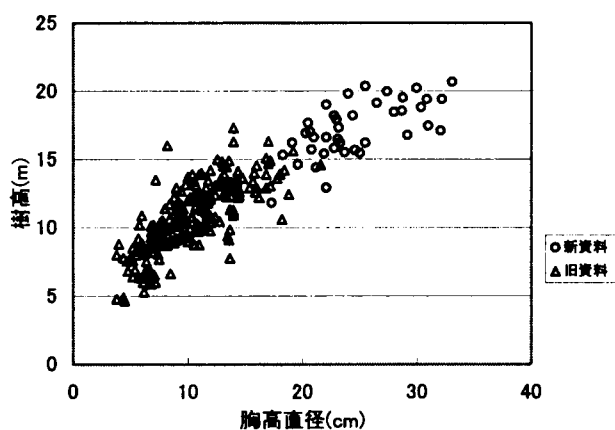


図-2 資料の胸高直径と樹高

5 材積直線式 $V=a+bD^2$

6 二次曲線式 $V=aD^2 + bD + c$

6式の精度を検討した結果を表-2に示す。その結果、6式の中では Stoaate 式の推定精度が最も高いと判断されたため、本報告では Stoaate 式で材積表を作成することにした。

次に直径級を 15cm 未満と 15cm 以上の 2 クラスに分けて、直径級別に求めた材積式を比較したところ、表-3 のように分散に有意な差が認められた。したがって、直径級別に材積式を求めることにした。直径級別の材積式の結果を表-4 に示す。さらに、資料の異

表-3 分散の一様性の検定

	自由度	分散	
15cm 以上	60	24.871	3.0445
15cm 未満	204	8.169	

$$F=3.0445 > F_{204}^{41}(0.025)=1.38$$

常値によって生じる材積式の偏りを避けるために異常値の棄却を行った。スチューデント化された残差

$$t_i = \frac{\sqrt{n-p-1}e_i}{\sqrt{\sum e_j^2 - e_i^2 / (1-p_{ii})} \sqrt{1-p_{ii}}}, i=1,2,\dots,n$$

は、自由度 $n-p-1$ の t 分布にしたがう⁴⁾。 $|t| > 1.5$ ならば異常値とみなすと、15cm 未満では 25 個、15cm 以上では 8 個の測定値が該当した。これらの測定値を棄却し検討した結果を表-5 に示す。決定係数、標準誤差、残差分散の値から $|t| > 1.5$ を異常値として棄却した方が材積式の推定精度が良くなったため、表-5 の材積式を用いて材積表を作成することにした。直径階の 14cm と 15cm の不連続面は移動平均法を用いて修正し作成した。作成した材積表を表-6 に示す。

表-2 材積式精度比較

	残差標準誤差	決定係数	残差分散	材積式
山本式	0.03469	0.995	0.000120	$V=0.000006275D^{1.933} H^{0.919}$
対数変数結合式	0.03470	0.995	0.00120	$V=0.00006038(D^2 H)^{0.9557}$
Stoaate 式	0.01198	0.995	0.00014	$V=0.01097+0.0000572D^2 +0.00003645D^2 H+0.001301H$
対数式	0.06763	0.982	0.00457	$V=0.000177D^{2.425}$
材積直線式	0.02410	0.978	0.00058	$V=0.0282+0.000759D^2$
二次曲線式	0.02114	0.983	0.00045	$V=0.002623D^2 +0.000987D+0.00791$

表-4 直径階別材積式

直径級	推定式	残差分散	決定係数	標準誤差
15cm 未満	$V=0.00230-0.0000303D^2 +0.0000442D^2 H+0.0000055H$	0.00002060	0.982	0.00454
15cm 以上	$V=-0.19907+0.000387D^2 +0.0000163D^2 H+0.0135H$	0.00045100	0.989	0.02120

表-5 異常値棄却後の直径階別材積式

直径級	推定式	残差分散	決定係数	標準誤差
15cm 未満	$V=-0.21302+0.000497D^2 +0.0000108D^2 H+0.01378H$	0.00000795	0.992	0.00282
15cm 以上	$V=0.00195-0.0000345D^2 +0.0000441D^2 H+0.0000766H$	0.00021000	0.994	0.01450

表-6 天然性ヒノキ材積表

	樹高(m)																					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
4	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.008	0.009															
6	0.007	0.009	0.011	0.012	0.014	0.016	0.017	0.019	0.021													
8		0.014	0.017	0.020	0.023	0.026	0.029	0.032	0.035	0.037	0.040											
10		0.021	0.025	0.030	0.034	0.039	0.043	0.048	0.052	0.057	0.061	0.066	0.070									
12			0.036	0.042	0.048	0.055	0.061	0.068	0.074	0.081	0.087	0.093	0.100	0.106	0.113							
14			0.048	0.056	0.065	0.074	0.082	0.091	0.100	0.109	0.117	0.126	0.135	0.143	0.152	0.161	0.170					
16				0.063	0.076	0.089	0.102	0.115	0.128	0.141	0.154	0.162	0.179	0.195	0.212	0.229	0.245	0.262	0.278	0.295	0.311	0.328
18				0.069	0.086	0.104	0.121	0.138	0.155	0.173	0.190	0.207	0.224	0.242	0.259	0.276	0.294	0.311	0.328	0.345	0.363	0.380
20					0.131	0.149	0.167	0.185	0.203	0.221	0.239	0.257	0.275	0.293	0.312	0.330	0.348	0.366	0.384	0.402	0.420	0.438
22					0.180	0.199	0.218	0.237	0.256	0.275	0.294	0.313	0.332	0.351	0.370	0.389	0.408	0.427	0.446	0.465	0.484	0.503
24						0.253	0.273	0.293	0.313	0.333	0.353	0.373	0.393	0.413	0.433	0.453	0.473	0.493	0.513	0.533	0.553	0.573
26						0.313	0.334	0.355	0.376	0.397	0.418	0.439	0.460	0.481	0.502	0.523	0.545	0.566	0.587	0.608	0.629	0.650
28							0.399	0.421	0.444	0.466	0.488	0.510	0.533	0.555	0.577	0.599	0.622	0.644	0.666	0.688	0.711	0.733
30							0.469	0.493	0.516	0.540	0.563	0.587	0.610	0.634	0.657	0.681	0.704	0.728	0.751	0.775	0.798	0.822
32								0.569	0.594	0.619	0.644	0.668	0.693	0.718	0.743	0.768	0.793	0.818	0.842	0.867	0.892	0.917
34								0.650	0.677	0.703	0.729	0.755	0.782	0.808	0.834	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.018
36									0.764	0.792	0.820	0.848	0.876	0.903	0.931	0.959	0.987	1.014	1.042	1.070	1.098	1.126
38									0.857	0.887	0.916	0.945	0.975	1.004	1.033	1.063	1.092	1.122	1.151	1.180	1.210	1.239
40										0.986	1.017	1.048	1.079	1.110	1.141	1.172	1.203	1.234	1.266	1.297	1.328	1.359

IV 樹幹解析

樹幹解析した天然生ヒノキは 23 林班の斜面上中下の 3 カ所で林分の平均的な上層木を選び伐採した。樹幹解析した資料は全部で 10 本である。各樹幹解析木の胸高直径、樹高、樹齢を表-7 に示す。樹齢は 75 年~125 年であった。胸高直径は 16.1cm~27.8cm、樹高は 14.1m~20.8m であった。各解析木の 5 年ごとの樹高、材積の総成長量、定期成長量、連年成長量、

表-7 樹幹解析木の属性

	No	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	樹齢 (年)
斜面上	①	20.7	17.0	125
	②	17.8	14.7	114
	③	16.1	16.3	100
	④	18.9	14.1	101
斜面中	⑤	23.2	17.3	75
	⑥	24.4	18.2	88
	⑦	19.0	16.8	122
斜面下	⑧	26.2	19.0	90
	⑨	22.1	19.0	88
	⑩	27.8	20.8	94

総平均成長量を図-3~10 に示す。赤井らは 24 林班から 27 林班の斜面上部は 75 年前の 1925 年に皆伐、55 年前の 1945 年に間伐、斜面下部は 55 年前の 1945 年に間伐されたことを推測し、大阪営林局（以前の管轄）の資料とほぼ一致することを報告している¹⁾²⁾。樹幹解析木を採取した 23 林班については報告例がないが、図-3, 4, 5, 6 から樹齢に関係なく、1920 年から 1940 年にかけて最初に大きな樹高成長が見られた。このことは赤井らの報告¹⁾²⁾と同じく、1920 年代から 1940 年代にかけて何らかの伐採が 23 林班でもあったと推測される。23 林班のアカマツのマツ枯れによる枯死本数・被害材積を図-11 に示す。マツ枯れは 1970 年代から発生し始め、1992 年のピーク時には年間 90 本ものアカマツが伐採された。その後、23 林班にはアカマツが減少し、マツ枯れによる伐採本数は減ってきている。図-7, 8 より樹幹解析木⑤, ⑥, ⑧, ⑩では 1970 年以降、材積成長量の増加がみられる。これはマツ枯れしたアカマツを伐採することが天然林内での林木間の競争を緩和し、材積成長を促したと考えられる。しかし、それ以外の樹幹解析木では材積成長量が落ちてきている。これはヒノキ同士の競争のためと考えられる。また、樹幹解析木の樹高/胸高直径の平均形状比は 81.1% で肥大成長が悪いことが分かる。

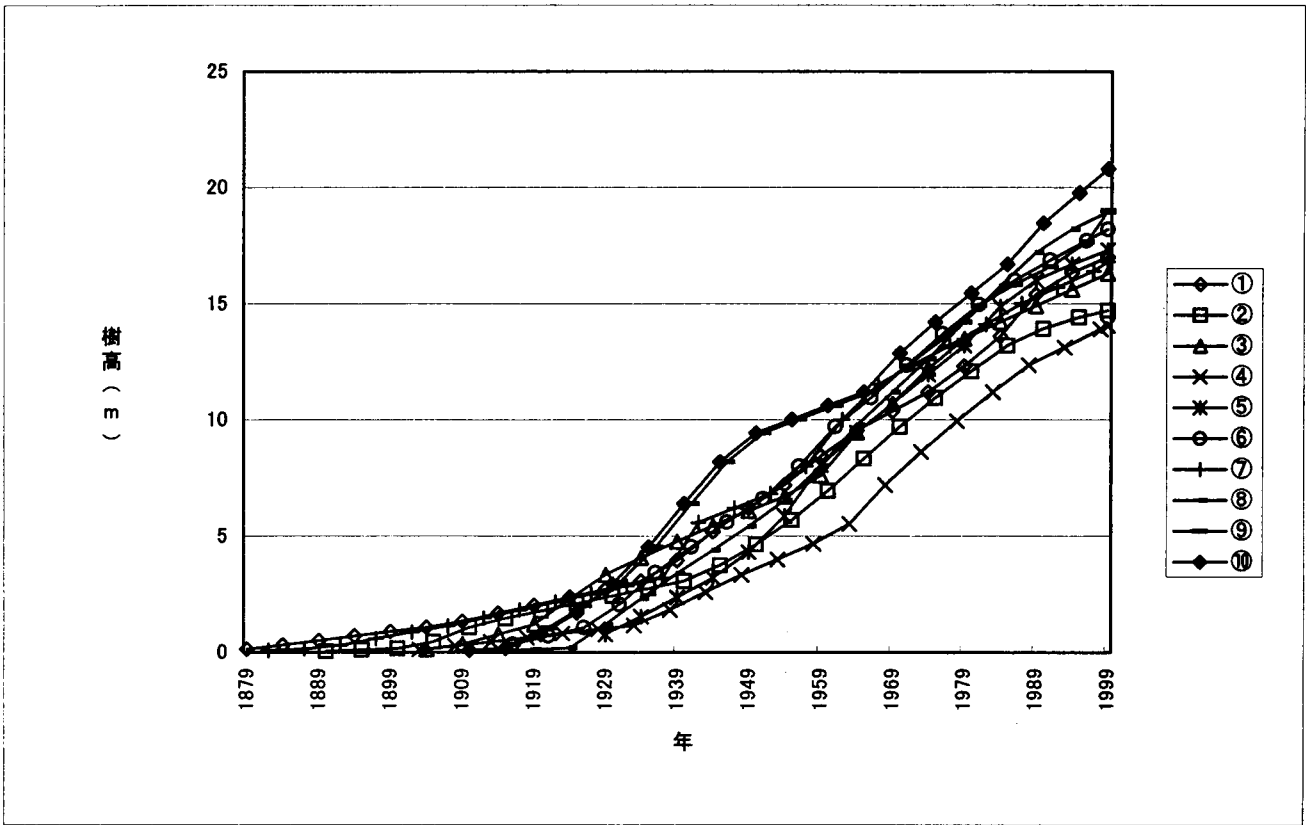


図-3 樹高総成長量

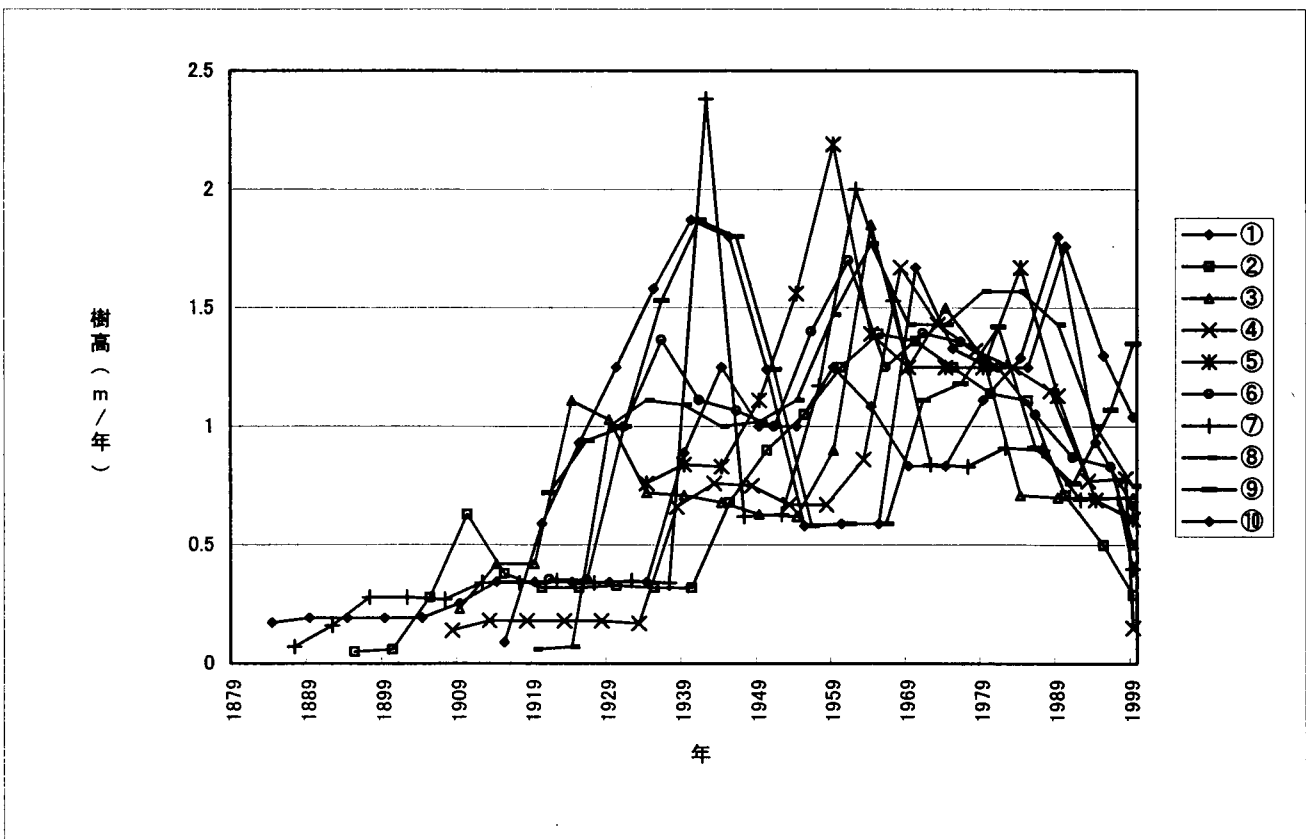


図-4 樹高定期成長量

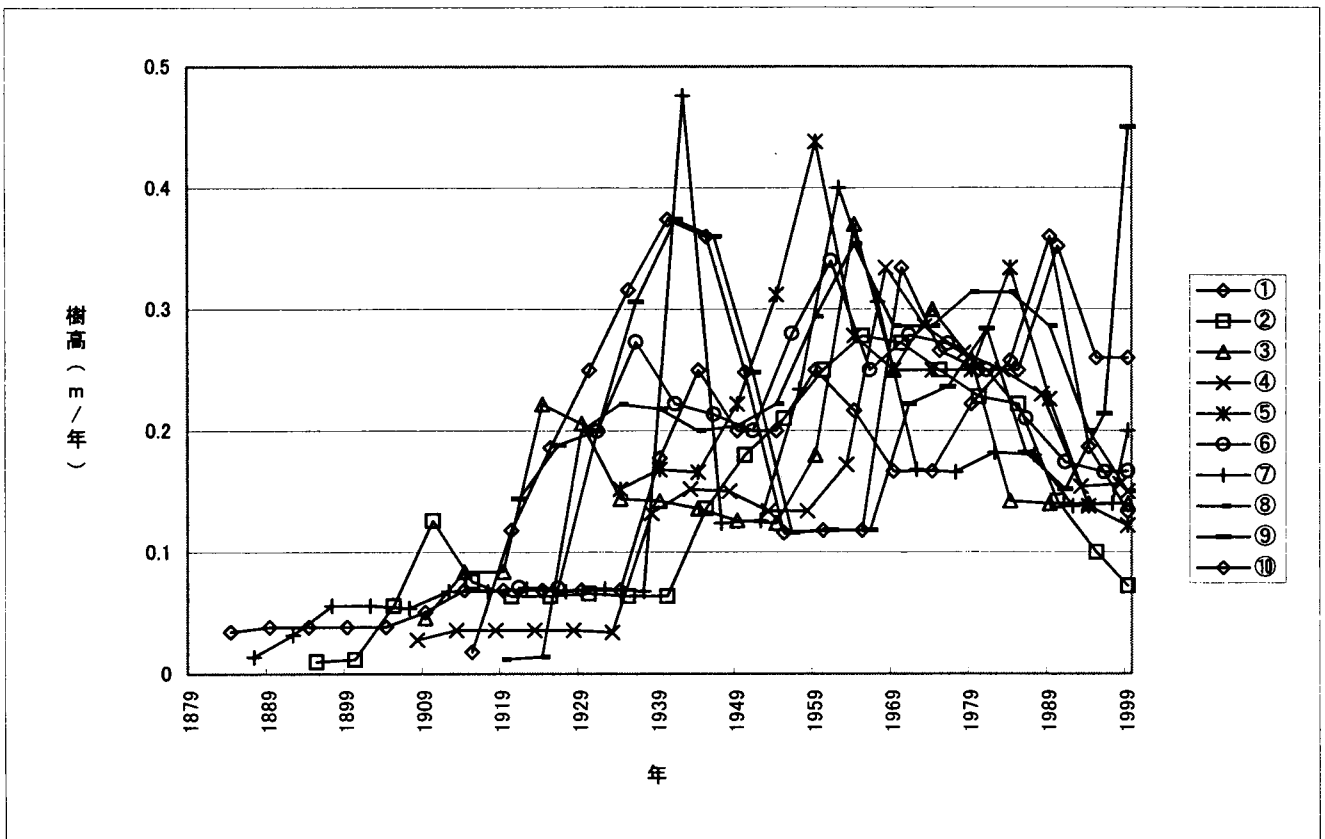


図-5 樹高連年成長量

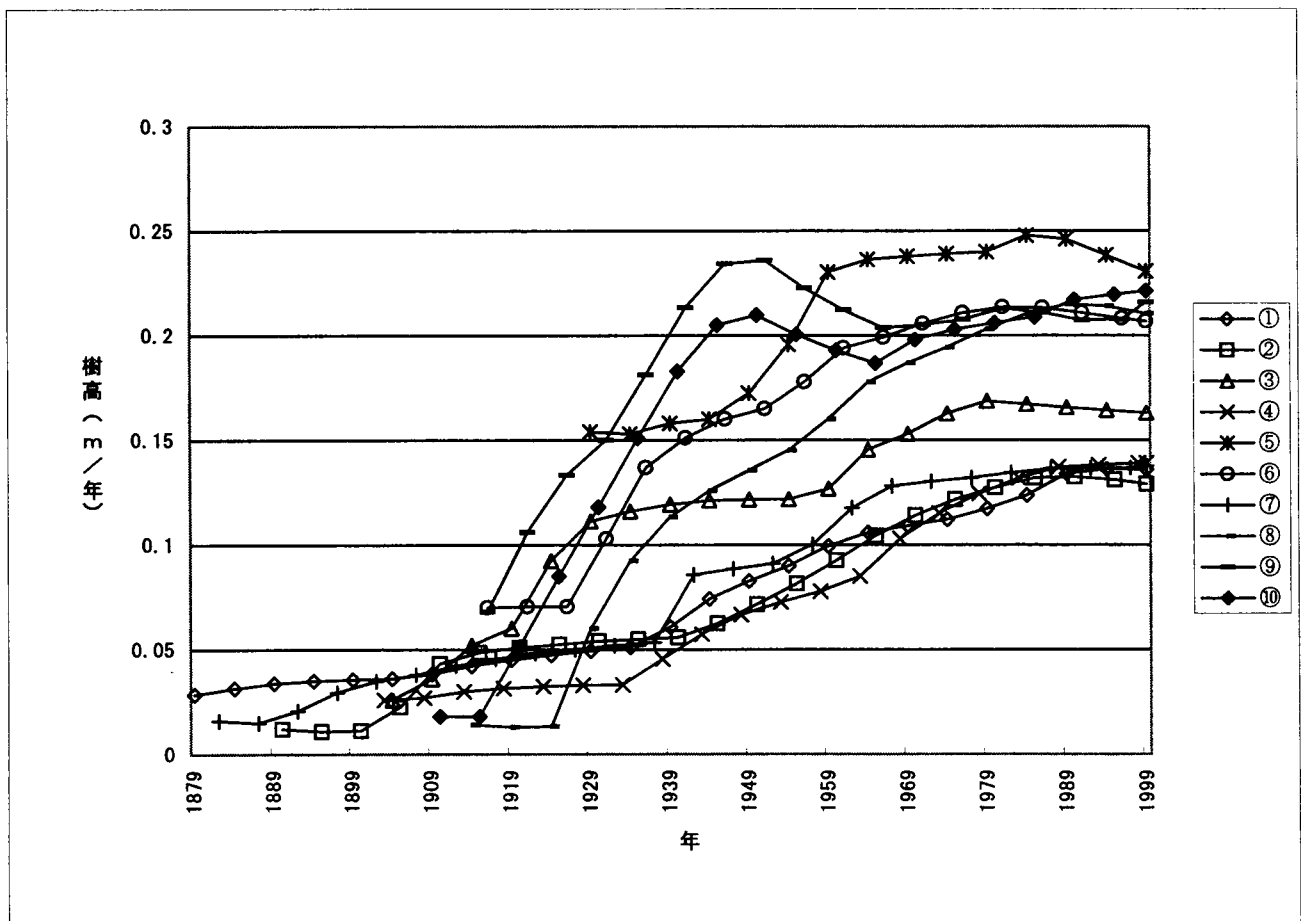


図-6 樹高総平均成長量

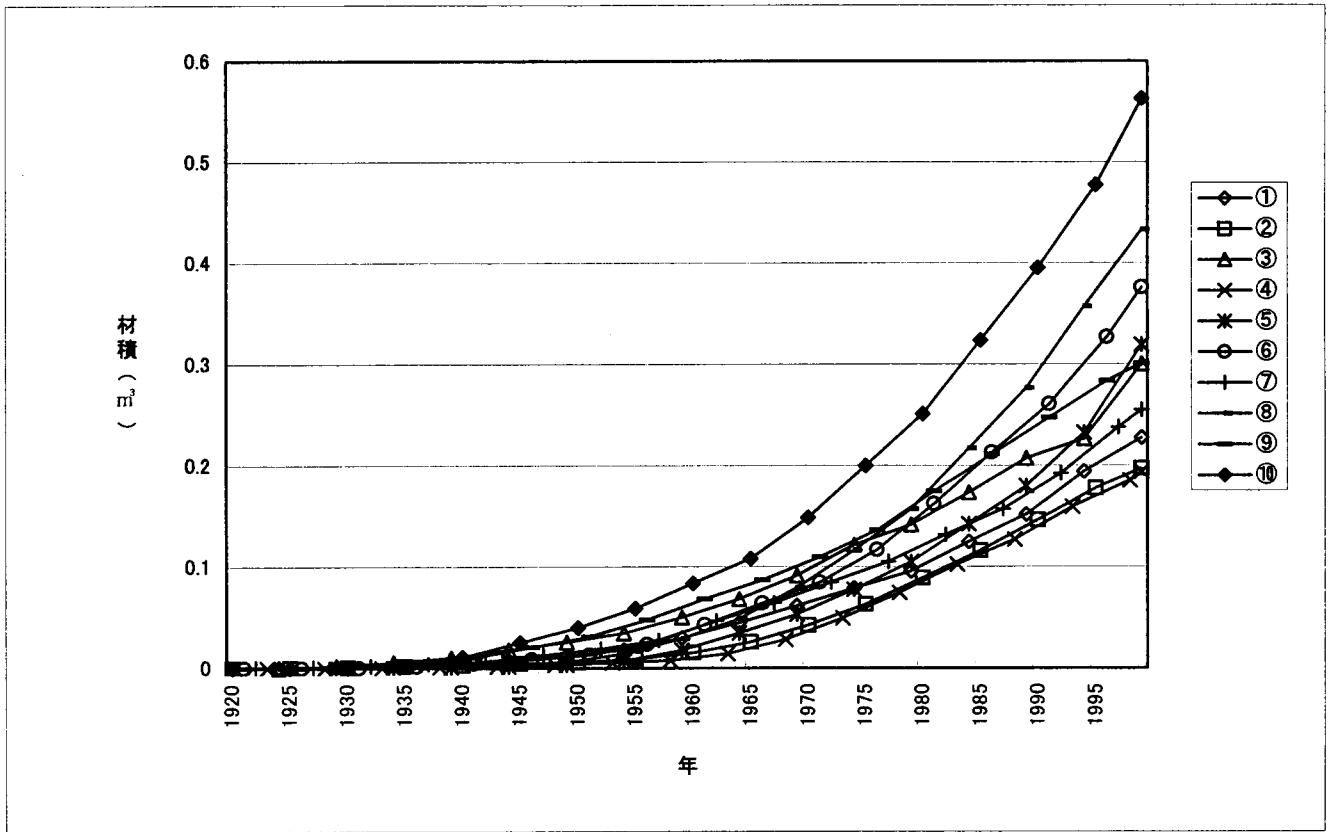


図-7 材積総成長量

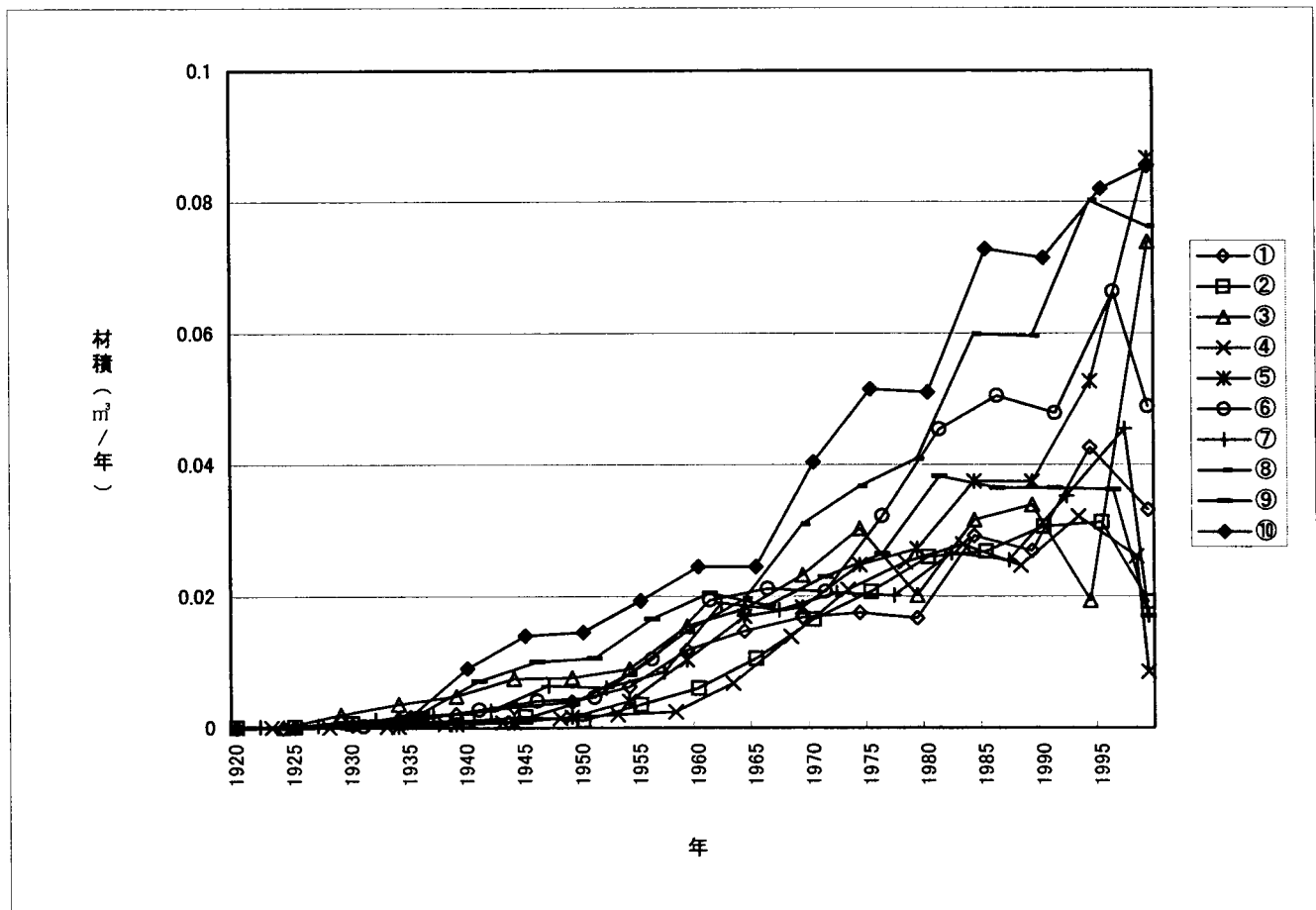


図-8 材積定期成長量

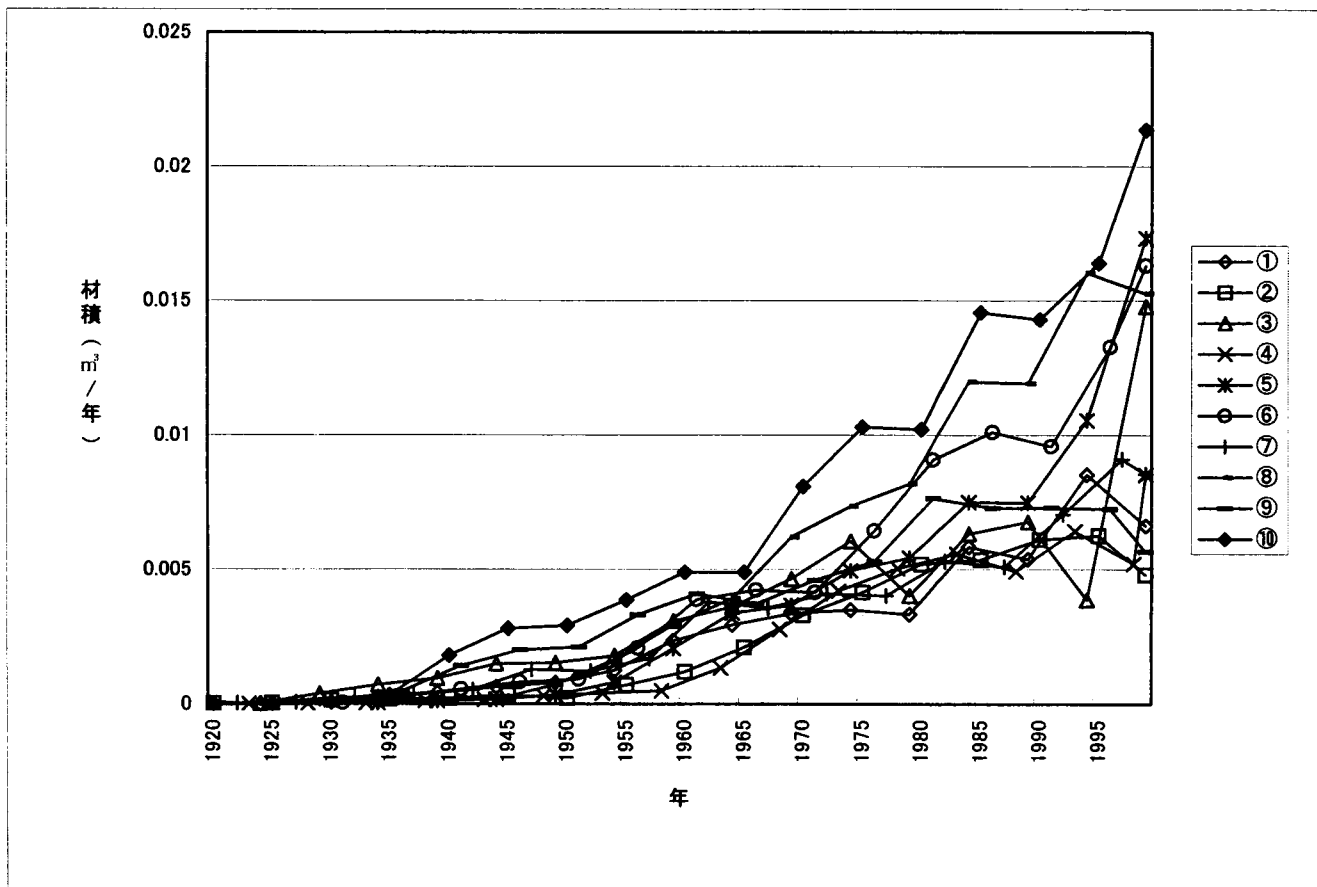


図-9 材積連年成長量

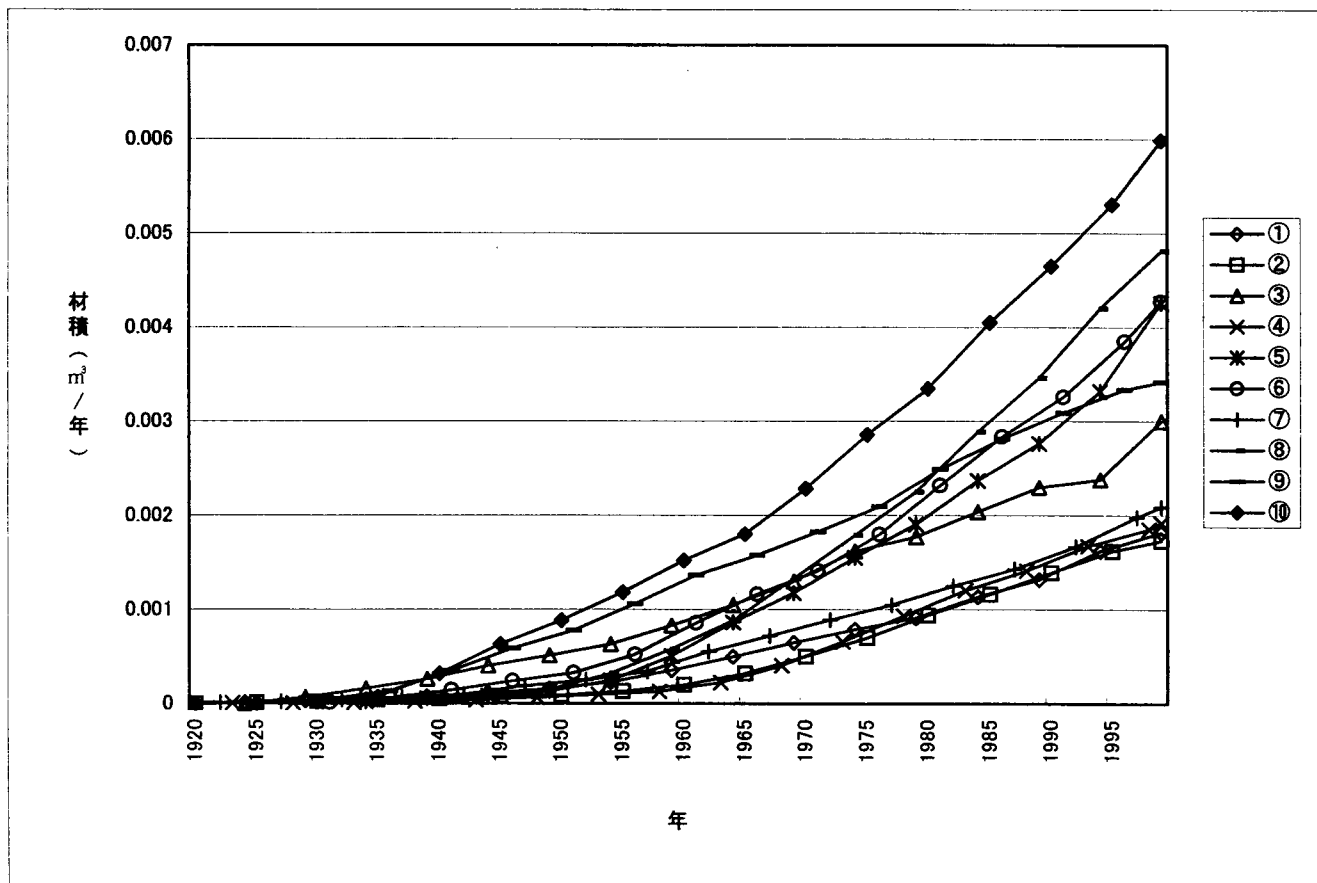


図-10 材積総平均成長量

引用文献

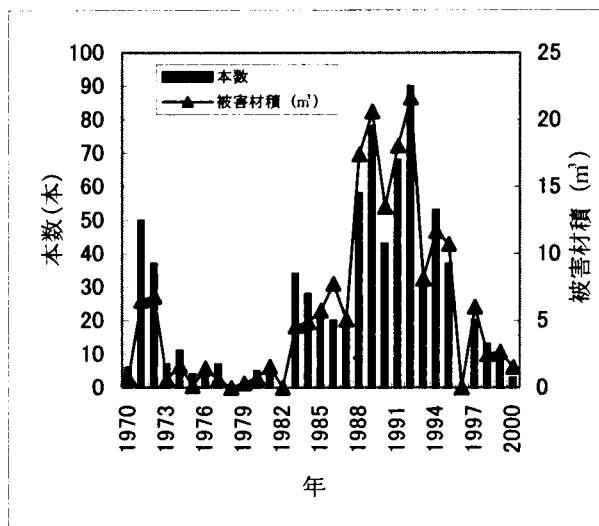


図-11 23 林班のマツクイムシによる枯死本数と被害材積

これらのことから 23 林班のヒノキ天然林はアカマツの伐採による林木間の競争の緩和も一部見られるが、非常に密な状態であると推測できる。

V おわりに

今回、材積表作成のため供した天然生ヒノキは 23 林班から収集したものである。試験地では他の林班で天然生ヒノキを伐採する予定がなく、資料の増加は望まれないため、資料の数は少なく、採集場所も偏っている。したがって、今回の材積表を用いて他の林班の天然生ヒノキの材積を求めることは無理がある場合も想定される。しかし、胸高直径 15cm 以上の資料を追加したことにより、15cm 以上の材に関しては、いまままで使われていた中井らの材積表に比べ精度の向上が期待される。今後、さらに精度をあげるため、他の林班での天然生ヒノキの資料や胸高直径 15cm 以上の資料の収集が必要と考えられる。

- 1) 赤井龍男・阪上俊郎・大野次朗 (1977) 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. 64-80
- 2) 赤井龍男・中井勇・岡本憲和・渡辺政俊 (1986) 京都市近郊における天然林ヒノキ・アカマツ混交林の林分構造と風致施業. 京大演報 57. 128-142
- 3) 大友栄松 (1956) 材積表の検定について. 日林誌 38-6. 234-237
- 4) 佐和隆光 (1979) 回帰分析. 187pp, 朝倉書店, 東京
- 5) 中井勇・岡本憲和・渡辺政俊・加藤影生・古村弘美・藤本博次・田中弘之・上田晋之助・赤井龍男 (1987) 上賀茂試験地のアカマツ・ヒノキ・広葉樹混交林における天然性ヒノキの立木幹材積表とその生長経過. 京都大学演習林集報 17. 147-153
- 6) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 現代林学講義 10 測樹学. 243pp, 地球社, 東京