

(研究資料)

ヒノキ林分密度管理図の調製について

——九州地方5県および九州全域の密度管理図——

飯 盛 功⁽¹⁾

Isao IIMORI : Stand Density Control Diagrams of *Chamaecyparis*
obtusa Stand in Kyushu
(Research note)

要 旨 : 「ヒノキ一般林分密度管理図」よりも、地域適合度の高い、新しい九州地方の「地域林分密度管理図」の調製について、昭和47年度の九州地区育林関係研究者会議において各県からの要望を受け、とりまとめが完了したので報告する。資料としては福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島県の5県の林業試験研究機関から提供をいただいたヒノキ林地生産力調査の資料と九州地方ヒノキ林分収穫表調製資料を使用した。管理図は各県のものと、収穫表の資料を基にしたもの【九州(1)】と、すべての資料を基にしたもの【九州(2)】の合計7つの密度管理図を調製した。各県の資料(福岡はのぞく)はプロットレス法で求めていたが、結論として、プロットレス法で求めた資料によって調製された密度管理図も十分使用できることが証明された。各県は自県の管理図を使い、また、九州全域の管理図としては、九州(2)の管理図を使用した方が適合性は高いと考えられた。

I は じ め に

昭和47年度の九州地区育林関係研究者会議において、各県から現在利用されている「ヒノキ一般林分密度管理図」(安藤調製)¹⁾よりも、より適合度の高い「地域林分密度管理図」の調製について要望が出された。この要望をうけて、新しく九州地方のヒノキ林分密度管理図を調製したので報告する。

調製にあたり、密度管理図の電算機のプログラムを利用させて頂き、またご指導賜った林業試験場北海道支場 真辺 昭経研究室長および、いろいろご助言、ご指導いただいた本場 栗屋仁志測定研究室長、四国支場 安藤 貴造研究室長に深謝する。全体の取りまとめについて終始ご援助賜った本場 蜂屋欣二造林部長および九州支場 尾方信夫造林第2研究室長に謝意を申し上げる。

また、計算には農林水産省の農林水産研究計算センター(HITAC-8450とM-170とACOS-6)を利用した。併せて関係係官に深謝する。

今回の密度管理図の調製にあたって、重点をおいたのは「資料の再調整」や「棄却標本のとられた林分の現地検討」および「地域間の差の検定」などである。

また、今回の報告の要旨はすでに、1976年の日本林学会九州支部研究論文集²⁾に報告しているが、その後の検討によって一部の修正をおこなったので、本報のとおり訂正したい。

II 資 料

調製には福岡・佐賀・長崎・熊本・鹿児島各県の林業試験研究機関から提供されたヒノキ林の林地生産力調査の標準地資料と九州地方ヒノキ林分収穫表⁹⁾の調製資料を使用した。林地生産力調査の資料は福岡県のものがプロット調査法で求められているほかは、すべてプロットレス調査でえられた。

プロットレス調査による資料は、1 林分を単位として、土壌試孔点を中心とした、1 回の周囲木の視準測定（数回測定の平均値でなく）で求められている。

なお、福岡県の場合、送付されて来た資料に胸高断面積が記載されていなかったために、電算機の入力に必要な胸高断面積は、胸高直径から、ha あたり断面積を計算して求めた。

また、樹高に関しては、長崎県は平均樹高、それ以外は上層高または主林木平均樹高である。今後、長崎県を省略して、樹高は上層高または主林木平均樹高と記入する。

III 計 算 内 容

1. 資料の再調整

管理図の調製に先立ち、各県より提供された資料の林分材積の計算方法が異なり、さらに毎木のデータでなく林分単位で計算されたものであったので、九州地方ヒノキ林分収穫表調製資料を用い、次の (1) 式⁸⁾によって、ha あたり断面積 (G) と主林木樹高 (H) から、各県の各調査地の幹材積を推定しなおし、資料の再調整をおこなった。

$$V = a + b \cdot G \cdot H \quad \dots\dots\dots (1)$$

[V : ha あたり幹材積 (m^3), G : ha あたり断面積 (m^2), H : 主林木平均樹高 (m), a, b : 係数]

全標本を (1) 式に入れて求めた危険率 5% の信頼帯に含まれないものを異常資料として棄却し、新しく係数 a, b を求めた。

棄却前と後の式の係数 a, b の値を表 1 に示す。

2. 異常資料の棄却および、その棄却標本についての現地検討

密度管理図の調製に必要な計算をおこなうに先立ち、まず異常資料の棄却をおこなった。

最初に、「ヒノキ一般林分密度管理図」の最多密度曲線¹⁾を超える資料は現実にはないだろうという考えから、(2) 式で示される最多密度曲線式に各標本の ha あたり本数を入れて求めた平均単木材積に比して、標本の値が大となっているものは棄却することとした。

$$\log v_{Rf} = -1.5867 \log \rho_{Rf} + 4.7257 \quad \dots\dots\dots (2)$$

[v_{Rf} : 平均単木幹材積 (m^3), ρ_{Rf} : 最多密度 (本/ha)]

表 1. 幹材積推定のための (1) 式の棄却前後の係数 a, b の値

	棄 却 前	棄 却 後
a	0.4354	0.4543
b	54.9173	46.4076
相 関 係 数		0.9946

注) 棄却は t 表の 5% 値をもちいた。

この方法によって棄却された資料数を表 2 の 4 行目に示す。

さらに真辺⁴⁾の林分密度管理図の調製のプログラムに用いられている (3), (4), (5) 式によって異常資料の棄却をおこなった。

$$v = a_1 H^{b_1} \rho^{b_2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

表2. 棄 却 さ れ た 資 料 数

式	地 域	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)
(3)		12	17	11	18	5	12
(4)		9	20	6	12	4	9
(5)		0	11	7	9	4	8
(2)		0	3	8	6	24	0
棄却後の資料数		220	277	141	292	119	116

式は本文参照。

$$HF = b_0 + b_1 + b_2 \frac{\sqrt{\rho} H}{100} \dots\dots\dots (4)$$

$$D = b_3 + b_4 D_g + b_5 \frac{\sqrt{\rho} H}{100} \dots\dots\dots (5)$$

[v : 単木あたり平均幹材積 (m^3), H : 上層高または主林木平均樹高 (m),

ρ : ha あたり本数, HF : 林分形状高, D : 平均胸高直径 (cm), D_g : 断面

積平均胸高直径 (cm), $\alpha \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5$: 係数]

各式による推定値と実測値との偏差を残差の標準偏差で除した値が t 表の危険率 1% の値をもちいて棄却した。その資料数は表 2 のとおりで、この中には重複した標本も含まれている。

棄却された標本林分を福岡県について、現地踏査をおこなった結果、これらの林分は風衝地形に多く、この中には比較的、樹齢の割に樹高が低い林分に多かった。

そこで、福岡県からの資料を福島²⁾により求められた地位指数（35 年生の時の樹高で示す）について、前述の検定で棄却された林分と棄却されない林分の平均値の差の検定をおこなった結果、1% で有意差がみられた。なお、地位指数の平均は棄却された林分で 10.0、棄却されない林分で 12.7 となっており、棄却された林分の地位は低い。

この棄却された林分は幹形等が正常の林分と違い、正常の林分構成因子の関係式からはずれたのではないかと考えられる。

3. 林分密度管理図の作製

(1) 逆数式の初期値（等平均樹高線）

林分密度管理図調製の基礎として用いられる ha あたりの幹材積と ha あたりの本数との関係式は次の (6) 式で示され、収量密度効果の逆数式²⁾とよばれる。

「初期値」は上層高の 2 m 区分でくった標本に対し、密度効果の逆数式をそれぞれ各上層高区分ごとに計算し、えられた係数を上層高に対して平滑化するという 2 段階の手続きで決定する。すなわち、上層高区分ごとの逆数式の係数 A , B を上層高 H のべき関数として、次の (7), (8) 式として、表わしている。

$$1/V = A + B/\rho \dots\dots\dots (6)$$

$$A = b_1 H^{b_2} \dots\dots\dots (7)$$

$$B = b_3 H^{b_4} \dots\dots\dots (8)$$

[V : ha あたり幹材積 (m^3), ρ : ha あたり本数, H : 上層高または主林木平均樹高 (m), $b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4$: 係数]

この方法により、7組の資料で得られた棄却後の初期値 $b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4$ の各係数の値を表 3-1 に示す。

(2) 逆数式の係数の改良 (等平均樹高線)

真辺⁴⁾は逆数式の係数の決定方法について、安藤¹⁾の方法〔上記(1)参照〕に改善を加えた。この方法は Marquardt の非線型の最適化の反復近似解法によるもので、(9)式によって、 Φ の値が最小となるよう係数 $b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4$ を決定する方法である。

$$\Phi = \sum_{i=1}^n w_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n w_i [V_i - (b_1 H^{b_2} + b_3 H^{b_4} / \rho)^{-1}]^2 \dots\dots\dots (9)$$

ここで w_i は観測値のウェイトである。

w_i の決定は、真辺⁴⁾ のプログラムに従って (3) 式で推定した平均幹材積を 20 クラスに分け、各クラスごとに残差の標準偏差 σ_v を求め (10) 式で平滑化した。

$$\sigma_v = \alpha_2 \hat{\rho}^{2.8} 10^{2.4 \hat{\rho}} \dots\dots\dots (10)$$

ここで $\hat{\rho}$ は (3) 式で求められる推定単木材積で、この値に ρ^2 を乗じて林分材積に対する分散 σ_v^2 を求め、その逆数として個々の標本の w_i を求めた。なお (3) 式の係数は表 3-2 のとおりである。

このようにして求めた各組ごとの係数 $\alpha_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4$ の値を表 3-3 に示す。

資料から前述の方法で直接求めた係数 b_j 特に $b_1 \cdot b_3$ の標準偏差は大となった。

一方、最多密度曲線の傾きをあらわす係数 K_1 は (11) 式で示される。

$$K_1 = b_4 / (b_2 - b_4) \dots\dots\dots (11)$$

したがって前記の方法で求めた収量密度効果の逆数式の係数を用いて K_1 を求めると資料の組ごとにその傾きが異なってくる。同一樹種で最多密度線が資料ごとに変わるということは理論的に説明つけ難いので、ここでは「ヒノキ一般林分密度管理図」の作製に当たって安藤¹⁾が全国的資料の分析結果から決めた最多密度曲線の傾き、すなわち $K_1 = -1.5867$ を用いることとした。この値を用い (11) 式により b_2 を消去し、前述の方法で他の係数を求めた。

逆数式の係数の初期値〔表 3-1〕と前記 (9) 式を用いて、逆数式の改良された係数を算出すると表 3-4 のとおりである。

係数の初期値は各組ごとに変動が大きいのが、それに比べて改良された係数の各組ごとの変動は小さく近似した値を示している。

各組の推定材積と実測材積の重相関係数は 0.91 以上となり、この式の有効性を示している。また、長崎・熊本・鹿児島・佐賀の各県の資料はプロットレス法で求めているが、この式の重相関係数の高さから、プロットレス法で調査した資料も林分密度管理図の調製資料として十分に使えることが分かった。

(3) 等平均直径線・最多密度曲線・等収量比数曲線・自然枯死曲線の計算

林分形状高と上層高 (または主林木平均樹高) および相対幹距比の逆数で示した林分密度の指標との関係は前述の (4) 式に示されている。(4) 式の係数と重相関係数を表 3-5 に示す。重相関係数はいずれも 0.97 以上であった。

平均胸高直径と断面積平均胸高直径間の関係は 前述の (5) 式に示されている。(5) 式の係数と重相関係数を表 3-6 に示す。重相関係数はいずれも 0.96 以上であった。

なお、福岡の重相関係数が 1.00 であるのは送付されて来た資料に胸高断面積が記載されていなかったために、同じ値を使ったためである。

表 3-1. 逆 数 式 の 初 期 値

$$\frac{1}{V} = b_1 H^{b_2} + b_3 H^{b_4} / \rho$$

V : ha あたり幹材積 (m³)
 ρ : ha あたり本数 (本)
 H : 上層高または主林木平均樹高 (m)

	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
b_1	0.138633	0.024132	0.080673	0.096487	0.015651	0.015480	0.016064
b_2	- 1.574836	- 0.946402	- 1.386638	- 1.492355	- 0.796965	- 0.797141	- 0.814825
b_3	51.488547	915.17102	36.111391	127.40196	3594.3113	1882.6371	2477.4550
b_4	- 1.377903	- 2.570969	- 1.341105	- 1.804104	- 3.251980	- 2.722807	- 2.861384

表 3-2. 競 争 密 度 効 果 の べ き 乗 式

$$v = \alpha_1 H^{\beta_1} \rho^{\beta_2}$$

ρ : ha あたり本数
 v : 単木平均幹材積 (m³/本)
 H : 上層高または主林木平均樹高 (m)

	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
α_1	0.258328	0.941278	0.322858	0.217544	1.283327	0.033606	0.214503
β_1	1.679574	1.538198	1.661661	1.706740	1.395147	2.006910	1.745611
β_2	- 0.636704	- 0.742217	- 0.652395	- 0.600536	- 0.721291	- 0.461806	- 0.621853

表 3-3. 平均幹材積とその分散の間の関係

$$\sigma_v = \alpha_2 \hat{v}^{\beta_3} 10^{\beta_4 \hat{v}}$$

σ_v : 平均幹材積の残差の標準誤差 $\hat{v}$: 平均幹材積 (推定値)

	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
α_2	2.143725	1.519342	0.049936	0.117576	0.072333	0.066002	0.206474
β_3	1.914984	1.833394	0.618047	1.002598	0.761690	0.742437	1.131806
β_4	- 2.882109	- 2.568411	0.371905	0.0	0.0	0.187484	- 0.348890
R_{zxy}	0.8918	0.9157	0.9179	0.9588	0.8354	0.9803	0.9779

R_{zxy} : 重相関係数

表 3-4. Marquardt の方法による逆数式の推定 (3 変数の場合)

$$\frac{1}{V} = b_1 H^{b_2} + b_3 H^{b_4} / \rho$$

V : ha あたり幹材積 (m³)
 ρ : ha あたり本数 (本)
 H : 上層高 (または主林木平均樹高)

	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
b_1	0.03663666	0.03292638	0.02936250	0.02414921	0.02055575	0.02430284	0.02950908
b_2	-1.054124	-1.060737	-1.038571	-1.003241	-0.931311	-1.032237	-1.048256
b_3	2574.6	2151.3	2694.3	1893.0	878.9	3067.4	2706.2
b_4	-2.850825	-2.868710	-2.808762	-2.713213	-2.518684	-2.791631	-2.834954
R_f^{***}	0.1978	0.1344	0.2047	0.2295	0.1690	0.3130	0.1882
R_{zxy}^{**}	0.9213	0.9478	0.9202	0.9083	0.9082	0.9818	0.9580
ステップ数*	12	7	12	11	7	6	7

* : 計算打切のステップ数

** : 重相関係数

*** : 限界競争比数

表 3-5. 林分形状高と上層高 (または主林木平均樹高) および密度指数間の関係

$$HF = b_0 + b_1 H + b_2 \left(\frac{\sqrt{\rho} H}{100} \right)$$

HF : 林分形状高
 H : 上層高 (または主林木平均樹高)
 $\frac{\sqrt{\rho} H}{100}$: 密度指数
 $(\rho$: ha あたり本数, H : 樹高 (m))

	福岡	長崎	熊本	鹿児島	佐賀	九州 (1)	九州 (2)
b_0	2.682102	1.835204	1.877620	2.006407	1.319776	1.395811	2.067763
b_1	0.433211	0.435434	0.448553	0.450343	0.456797	0.403788	0.435131
b_2	-0.226916	-0.109439	-0.133337	-0.181583	-0.088478	0.088269	0.136970
R_{zxy}	0.9745	0.9909	0.9963	0.9922	0.9967	0.9963	0.9903

 R_{zxy} : 重相関係数

表 3-6. 平均胸高直径と断面積平均胸高直径間の関係

$$D = b_3 + b_4 D_g + b_5 \frac{\sqrt{\rho} H}{100}$$

D : 平均胸高直径 (cm)
 D_g : 断面積平均胸高直径 (cm)

	福岡	長崎	熊本	鹿児島	佐賀	九州 (1)	九州 (2)
b_3	0.003254	0.555741	0.450711	-0.067405	1.600672	-0.192981	0.095059
b_4	0.999836	1.044594	0.986898	0.996398	0.957885	0.996212	0.938768
b_5	0.0	0.188370	0.071045	-0.031911	0.0	0.0	0.317434
R_{zxy}	1.0000	0.9829	0.9966	0.9989	0.9599	0.9996	0.9704

 R_{zxy} : 重相関係数等収量比数曲線は安藤¹⁾により, 次式で示されている。

$$V = K_2 \rho^{K_1+1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

[V : ha あたり幹材積, ρ : ha あたり本数, $K_1 = -1.5867$, K_2 : 各組 (地域) で違う係数]

ここで K_2 は下記の (13) 式で表わされ, 収量比数 R_y を 1.0 とした場合が最多密度曲線となる。

$$K_2 = \frac{(1-R_f) R_y}{b_1} \left[\frac{b_1}{b_3} \cdot \frac{1-(1-R_f) R_y}{(1-R_f) R_y} \right]^{\frac{b_2}{b_2-b_4}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

[R_f : 限界競争比数¹⁾⁴⁾・表 3-4 参照, R_y : 収量比数¹⁾, $b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4$: 係数・

この場合は表 3-4 参照]

(13) 式で得られた各組 (地域) の最多密度曲線の K_2 の値を表 4 に示す。植栽本数 ρ_0 に対する自然枯死線⁴⁾は, 平均幹材積 v の関数で (14) 式で表わされる。

$$1/\rho = 1/\rho_0 - \frac{v}{K_3 \rho_0^{K_1+1}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

なお, K_3 は (15) 式で表わされる。

$$K_3 = \frac{K_1 R_f}{b_3} \left(\frac{R_f}{1-R_f} \cdot \frac{b_1}{b_3} \right)^{K_1} \left(\frac{b_2}{b_4} \right)^{K_1+1} \quad \dots\dots\dots (15)$$

[R_f : 限界競争比数・表 3-4 参照, $K_1 = -1.5867$, $b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4$: 係数・

この場合は表 3-4 参照]

(15) 式で得られた各組 (地域) ごとの K_3 の値を表 5 に示す。

以上に説明した密度管理図の調製に必要な各式の係数および作図に用いる数値を、真辺のプログラム⁴⁾を用いて算出した。

上記の計算結果に基づいて、調製した7つのヒノキ林分密度管理図が、付図1（福岡県）、2（長崎県）、3（熊本県）、4（鹿児島県）、5（佐賀県）、6〔九州（1）〕、7〔九州（2）〕である。

IV 林分密度管理図の地域間の差の検定および精度

ここでは各組ごとに調製した林分密度管理図が各組の標本にどのように適合するかを、累積偏差、変動係数などによる方法および後述する大友の方法⁵⁾で検討して、林分密度管理図特に等平均樹高線と等平均直径線の地域間の比較を行うことにした。

1. 等平均樹高線・等平均直径線の変動係数、累積偏差

各標本の林分幹材積の推定値は前述の逆数式（6）式を使って、上層高（または主林木平均樹高）と ha あたり本数から求めた。

胸高直径は、前記の幹材積の推定値を、（4）式より求めた林分形状高 HF で除して断面積を求め、これから算出した断面積平均胸高直径から（5）式を用いて推定した。

ただし、全国（ヒノキ一般林分密度管理図）では上記の方法では不可能なため、文献1）の（25）、（40）、（41）式と Table 20、Table 31 の式と係数を用い、胸高直径を推定した。

以上のように8種の林分密度管理図による ha あたり幹材積と平均胸高直径を推定し、それぞれ実測値との残差合計、平均残差、累積偏差（aggregate deviation）⁷⁾、残差の標準偏差および変動係数を求め、推定精度および適合性の検討を行った。

前記の各種統計量は次のような式で求めたものであり、表6に示す。

$$\text{残差合計} : \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$$

$$\text{平均残差} : \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$$

$$\text{累積偏差} : \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i} \times 100$$

$$\text{残差の標準偏差} : \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

$$\text{変動係数} : \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}}{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}} \times 100$$

なお、 Y は ha あたり幹材積または平均胸高直径の実測値、 $\hat{Y}$ はそれぞれの推定値を示す。

表4. 最多密度曲線の（14）式の K_2 の値

	K_2
福岡	34731.7
九州 (1)	43927.1
鹿児島	48297.5
熊本	48993.1
長崎	52410.2
九州 (2)	52892.2
佐賀	53642.0

表5. 自然枯死曲線の（16）式の K_3 の値

	K_3
福岡	-98792.2
九州 (1)	-124946.9
鹿児島	-137378.4
熊本	-139350.5
長崎	-149078.0
九州 (2)	-150447.7
佐賀	-152582.0

ここではまず各管理図による特定の偏りの程度を示す尺度である累積偏差によって適合性の比較を行った。

各組ごとに累積偏差を示すと、ha あたり幹材積では図 1、平均直径では図 2 のようになる。それぞれの図では、累積偏差の大きさ（絶対値でなく）の順に左から右へと地域を配列した。

図 1、2 とともに、各県ごとおよび九州（1）、九州（2）、全国の林分密度管理図をそれぞれの地域の標本にあてはめた場合累積偏差の絶対値は、他地域の管理図のものに比して、自地域の管理図によるものが最小の値を示す。これは、これらの管理図が非線型の最適化反復近似解法により求められているためであることと考えられる。

また図 1、2 は自地域の管理図を中心として、それより左方において + の累積偏差値をもつ管理図は過少推定値を、右方において - の累積偏差値をもつ管理図は過大推定値を与えることを示している。

図 1 で各地域ごとに幹材積の場合をみると、各地域に共通して、福岡県の管理図によるもの（以下単に福岡とよぶ）が左端にきて、次に全国、熊本のグループ、その次に九州（1）、九州（2）、長崎のグループ、ついで鹿児島、佐賀の順となる。そして各グループ内での順序は地域によって多少変化する。

表 6. 等平均樹高線・等平均直径線からの累積偏差・変動係数等

（1）福 岡 の 標 本

幹 材 積 標 本 数 = 220 実平均幹材積 = 276.3 m³/ha

諸統計量 ※	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
	m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡	275.9	79.7	0.36	0.1	35.7	13.0
長 崎	321.9	-10037.2	-45.62	-14.2	58.9	18.3
熊 本	294.4	-3989.7	-18.14	-6.2	40.6	13.8
鹿 児 島	327.6	-11282.5	-51.28	-15.7	63.7	19.4
佐 賀	353.5	-16953.5	-77.06	-21.8	85.3	24.1
九 州 (1)	301.5	-5538.4	-25.17	-8.4	45.8	15.2
九 州 (2)	305.3	-6393.6	-29.06	-9.5	47.0	15.4
全 国	278.3	-477.2	-2.03	-0.7	39.0	14.0

※ 管理図の係数

胸 高 直 径 標 本 数 = 220 実平均胸高直径 = 17.7 cm

諸統計量 ※	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
	cm	cm	cm	%	cm	%
福 岡	17.7	2.7	0.01	0.1	1.4	7.7
長 崎	21.9	-909.5	-4.13	-18.9	4.4	20.0
熊 本	19.1	-293.8	-1.34	-7.0	1.9	10.0
鹿 児 島	19.3	-350.6	-1.59	-8.3	2.1	10.9
佐 賀	21.4	-800.0	-3.64	-17.0	2.9	18.3
九 州 (1)	18.3	-126.9	-0.58	-3.2	1.5	8.1
九 州 (2)	19.4	-361.2	-1.64	-8.5	2.1	11.1
全 国	18.3	-132.5	-0.60	-3.3	1.6	8.5

※ 管理図の係数

表 6. つ づ き

(2) 長 崎 の 標 本

幹 材 積 標 本 数 = 277 実平均幹材積 = 330.7 m³/ha

※	諸統計量 平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
	m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡	284.6	12768.5	46.10	16.2	61.8	21.7
長 崎	330.5	38.3	0.14	0.04	39.7	12.0
熊 本	308.5	6147.7	22.19	7.2	46.0	14.9
鹿 児 島	343.6	-3587.6	-12.95	-3.8	42.9	12.5
佐 賀	366.5	-9923.6	-35.83	-9.8	53.8	14.7
九 州 (1)	321.5	2540.1	9.17	2.9	43.4	13.5
九 州 (2)	319.2	3188.4	11.51	3.6	41.8	13.1
全 国	288.6	11661.6	42.10	14.6	58.3	20.2

※ 管理図の係数

胸 高 直 径 標 本 数 = 277 実平均胸高直径 = 20.0 cm

※	諸統計量 平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
	cm	cm	cm	%	cm	%
福 岡	16.2	1072.8	3.87	24.0	4.2	25.7
長 崎	20.0	-0.5	-0.01	-0.05	1.4	7.1
熊 本	17.6	686.4	2.48	14.1	2.9	16.5
鹿 児 島	17.7	648.9	2.34	13.2	2.8	15.6
佐 賀	19.6	124.9	0.45	2.3	1.6	8.2
九 州 (1)	16.7	922.5	3.33	19.9	3.6	21.8
九 州 (2)	18.0	556.4	2.01	11.1	2.5	14.1
全 国	16.6	949.7	3.43	20.7	3.7	22.4

※ 管理図の係数

(3) 熊 本 の 標 本

幹 材 積 標 本 数 = 141 実平均幹材積 = 422.9 m³/ha

※	諸統計量 平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
	m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡	391.2	4471.3	31.71	8.1	60.7	15.5
長 崎	454.9	-4519.8	-32.06	-7.0	60.3	13.3
熊 本	423.1	-33.7	-0.24	-0.1	49.3	11.7
鹿 児 島	464.1	-5807.4	-41.19	-8.9	64.5	13.9
佐 賀	479.1	-7934.7	-56.27	-11.7	75.0	15.6
九 州 (1)	441.7	-2656.2	-18.84	-4.3	54.0	12.2
九 州 (2)	439.4	-2325.3	-16.49	-3.8	52.3	11.9
全 国	426.2	-473.3	-3.36	-0.8	54.9	12.9

※ 管理図の係数

表6. つづき

胸高直径 標本数=141 実平均胸高直径=22.5 cm

諸統計量 ※	平均 (推定値)	残差合計	平均残差	累積偏差	残差の 標準偏差	変動係数
	cm	cm	cm	%	cm	%
福岡	21.1	194.7	1.38	6.5	2.0	9.6
長崎	25.7	-444.5	-3.15	-18.3	3.5	13.8
熊本	22.5	-4.1	-0.03	-0.1	1.5	6.6
鹿児島	22.8	-40.2	-0.29	-1.3	1.5	6.7
佐賀	24.2	-239.9	-1.70	-7.0	2.3	9.6
九州(1)	21.9	80.9	0.57	2.6	1.6	7.4
九州(2)	23.0	-76.3	-0.54	-2.3	1.6	6.9
全国	22.4	8.2	0.06	0.3	1.7	7.8

※ 管理図の係数

(4) 鹿児島県の標本

幹材積 標本数=292 実平均幹材積=389.2 m³/ha

諸統計量 ※	平均 (推定値)	残差合計	平均残差	累積偏差	残差の 標準偏差	変動係数
	m³/ha	m³	m³/ha	%	m³/ha	%
福岡	331.1	16966.8	58.11	17.5	78.2	23.6
長崎	386.5	786.0	2.69	0.7	50.7	13.1
熊本	353.2	10533.2	36.07	10.2	60.9	17.2
鹿児島	389.3	-17.5	-0.06	-0.02	48.3	12.4
佐賀	411.6	-6524.4	-22.34	-5.4	54.1	13.1
九州(1)	362.4	7842.8	26.86	7.4	55.0	15.2
九州(2)	367.0	6485.4	22.21	6.1	53.6	14.6
全国	348.9	11744.5	40.32	11.6	65.0	18.6

※ 管理図の係数

胸高直径 標本数=292 実平均胸高直径=22.3 cm

諸統計量 ※	平均 (推定値)	残差合計	平均残差	累積偏差	残差の 標準偏差	変動係数
	cm	cm	cm	%	cm	%
福岡	20.7	466.8	1.60	7.7	2.2	10.9
長崎	25.2	-853.8	-2.92	-11.6	3.4	13.4
熊本	22.0	84.7	0.29	1.3	1.6	7.3
鹿児島	22.3	-10.5	-0.04	-0.2	1.6	7.1
佐賀	24.1	-531.1	-1.82	-7.5	2.4	10.1
九州(1)	21.3	271.4	0.93	4.4	1.8	8.6
九州(2)	22.3	-13.3	-0.05	-0.2	1.6	7.2
全国	21.7	164.4	0.56	2.6	1.8	8.2

※ 管理図の係数

表 6. つ づ き

(5) 佐 賀 の 標 本

幹 材 積 標 本 数=119 実平均幹材積=422.3 m³/ha

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡		332.1	10728.4	90.15	27.1	101.8	30.6
長 崎		384.5	4497.7	37.80	9.8	60.9	15.8
熊 本		364.6	6866.2	57.70	15.8	74.4	20.4
鹿 児 島		404.1	2163.7	18.18	4.5	51.2	12.7
佐 賀		421.5	87.9	-0.74	0.2	46.5	11.0
九 州 (1)		385.9	4332.8	36.41	9.4	61.1	15.8
九 州 (2)		377.0	5390.8	45.30	12.0	65.7	17.4
全 国		348.0	8842.0	74.30	21.4	90.2	25.9

※ 管理図の係数

胸 高 直 径 標 本 数=119 実平均胸高直径=19.5 cm

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		cm	cm	cm	%	cm	%
福 岡		16.4	371.4	3.12	19.0	3.5	21.0
長 崎		20.3	-91.0	-0.76	-3.8	1.7	8.6
熊 本		17.9	195.8	1.65	9.2	2.2	12.4
鹿 児 島		17.9	188.1	1.58	8.8	2.2	12.1
佐 賀		19.5	-0.4	-0.003	-0.02	1.4	7.4
九 州 (1)		17.0	298.5	2.51	14.7	2.9	17.2
九 州 (2)		18.5	118.5	1.00	5.4	1.8	10.0
全 国		17.0	303.3	2.55	15.0	3.0	17.9

※ 管理図の係数

(6) 九 州 (1) の 標 本

幹 材 積 標 本 数=116 実平均幹材積=294.1 m³/ha

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡		270.7	2716.2	23.42	8.6	48.5	17.9
長 崎		316.3	-2568.6	-22.14	-7.0	45.6	14.4
熊 本		287.7	746.6	6.44	2.2	37.8	13.1
鹿 児 島		319.0	-2889.6	-24.91	-7.8	43.8	13.7
佐 賀		343.2	-5690.8	-49.06	-14.3	62.4	18.2
九 州 (1)		293.7	-54.9	-0.47	-0.2	35.3	12.0
九 州 (2)		298.8	-535.8	-4.62	-1.5	36.9	12.4
全 国		277.6	1917.4	16.53	6.0	46.2	16.6

※ 管理図の係数

表 6. つ づ き

胸 高 直 径 標 本 数=116 実平均胸高直径=18.4 cm

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		cm	cm	cm	%	cm	%
福 岡		17.8	60.5	0.52	2.9	1.4	7.7
長 崎		22.0	-420.2	-3.62	-16.5	3.9	17.8
熊 本		19.1	-86.5	-0.75	-3.9	1.5	7.7
鹿 児 島		19.4	-115.1	-0.99	-5.1	1.6	8.2
佐 賀		21.4	-355.2	-3.06	-14.3	3.4	15.9
九 州 (1)		18.4	-1.5	-0.01	-0.1	1.2	6.6
九 州 (2)		19.4	-118.4	-1.02	-5.3	1.6	8.5
全 国		18.6	-31.7	-0.27	-1.5	1.5	7.9

※ 管理図の係数

(7) 九州 (2) の標本

幹 材 積 標 本 数=1,046 実平均幹材積=344.0 m³/ha

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
福 岡		308.6	37002.4	35.38	11.5	61.2	19.8
長 崎		359.5	-16301.2	-15.58	-4.3	50.8	14.1
熊 本		331.1	13404.2	12.81	3.9	49.3	14.9
鹿 児 島		366.5	-23584.5	-22.55	-6.2	52.6	14.3
佐 賀		388.9	-47026.9	-44.96	-11.6	65.6	16.9
九 州 (1)		341.8	2243.1	2.14	0.6	48.1	14.1
九 州 (2)		343.6	419.2	0.40	-0.1	47.4	13.8
全 国		320.6	24433.0	23.36	7.3	55.1	17.2

※ 管理図の係数

胸 高 直 径 標 本 数=1,046 実平均胸高直径=20.3 cm

※	諸統計量	平 均 (推定値)	残 差 合 計	平 均 残 差	累 積 偏 差	残 差 の 標 準 偏 差	変 動 係 数
		cm	cm	cm	%	cm	%
福 岡		18.6	1792.2	1.71	9.2	2.7	14.3
長 崎		22.8	-2630.5	-2.51	-11.0	3.3	14.6
熊 本		20.0	386.6	0.37	1.9	2.1	10.3
鹿 児 島		20.2	132.6	0.13	0.6	2.1	10.2
佐 賀		22.0	-1801.3	-1.72	-7.8	2.7	12.5
九 州 (1)		19.2	1146.4	1.10	5.7	2.3	12.1
九 州 (2)		20.3	-12.8	-0.01	-0.06	2.0	9.9
全 国		19.4	958.1	0.92	4.7	2.4	12.3

※ 管理図の係数

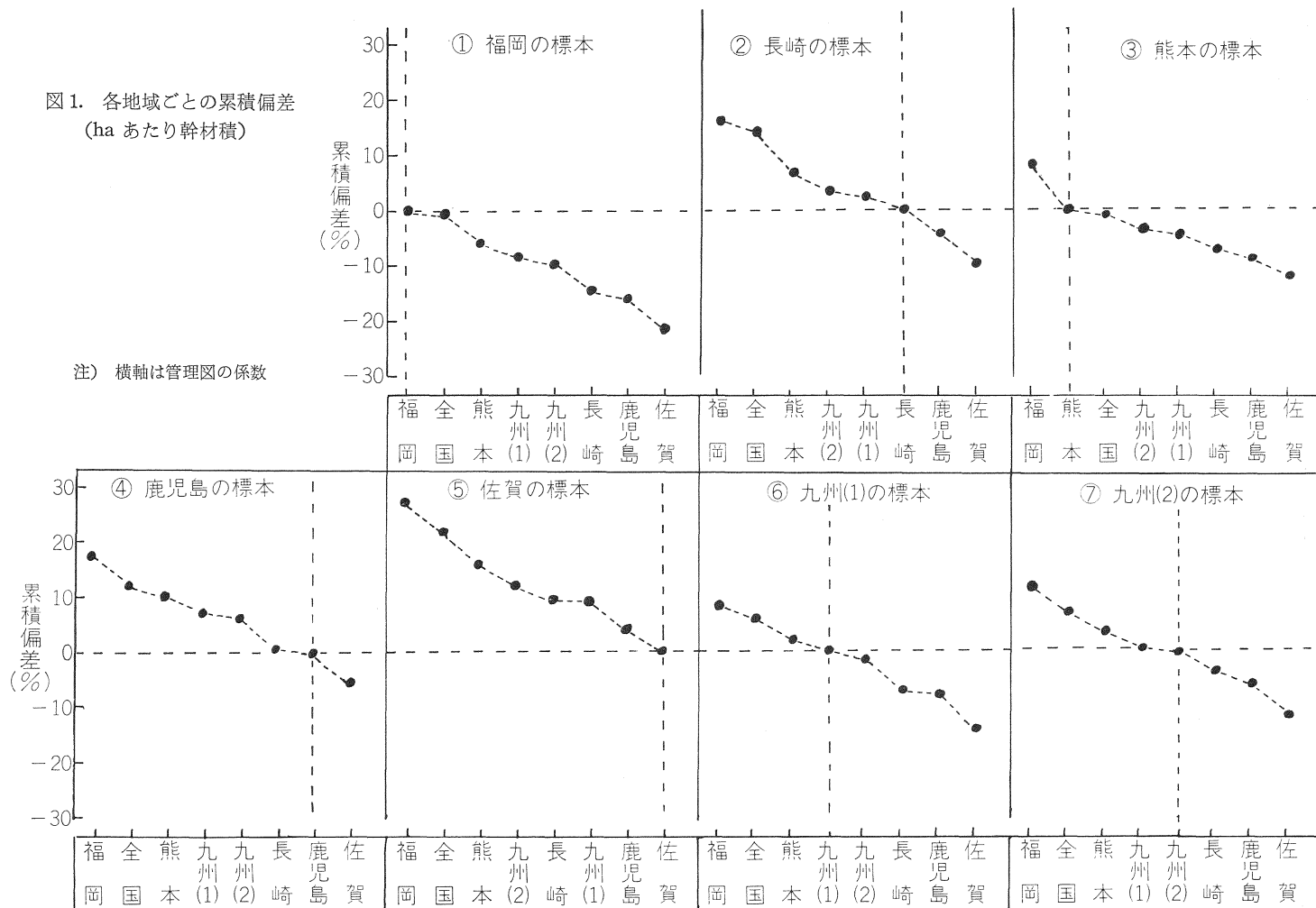
図1. 各地域ごとの累積偏差
(ha あたり幹材積)

図 2. 各地域ごとの累積偏差
(ha あたり胸高直径)

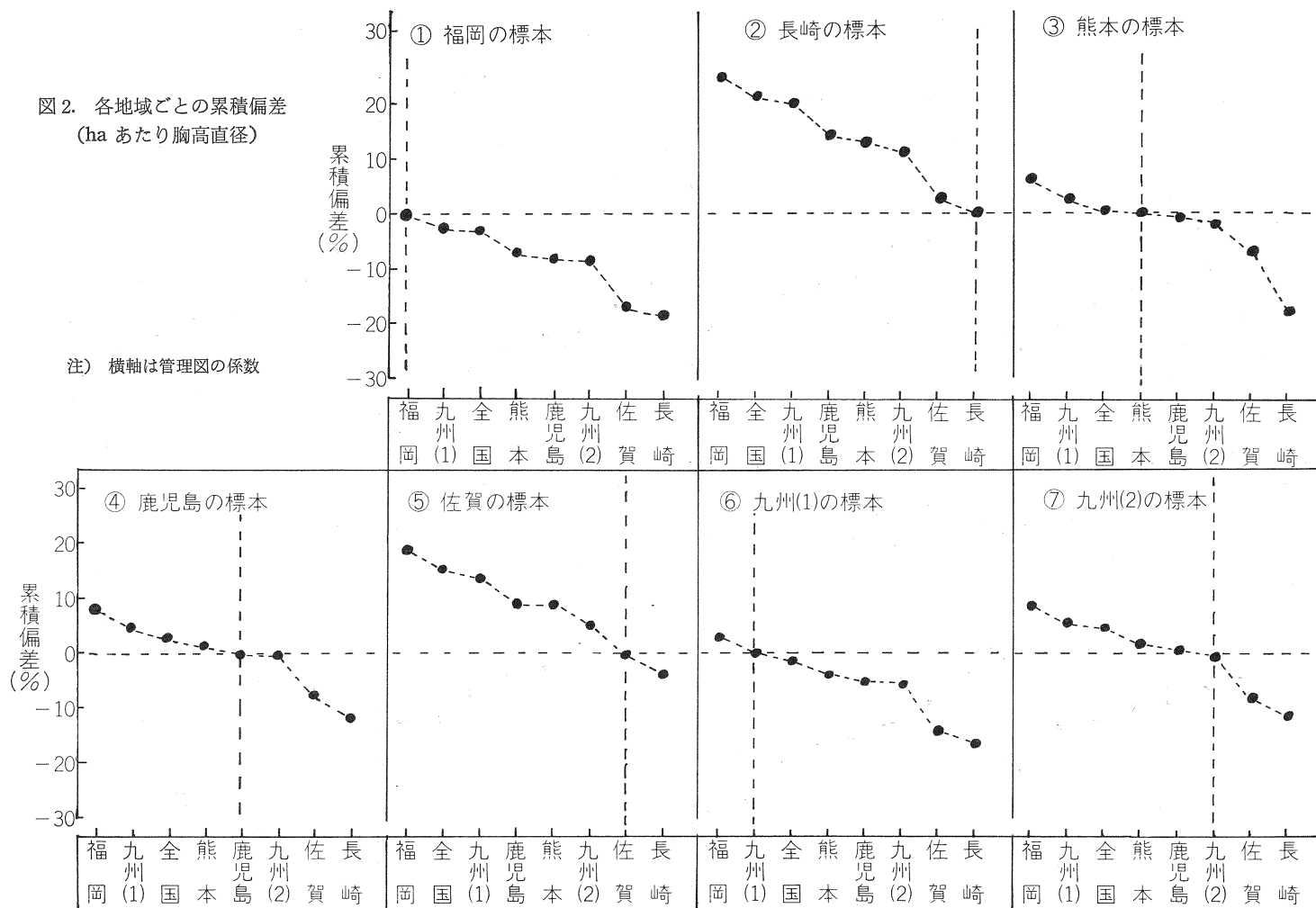


表 7. ヒノキ林分密度管理図の検定結果

(1) 実幹材積と推定幹材積

※	標 本	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
福 岡		○ (0.02)	** (195.74)	** (31.13)	** (211.67)	** (216.79)	** (32.35)	** (326.48)
長 崎		** (184.61)	○ (0.01)	** (27.94)	○ (1.15)	** (39.53)	** (18.10)	** (54.42)
熊 本		** (32.91)	** (41.79)	○ (0.002)	** (84.05)	** (89.27)	** (5.10)	** (41.99)
鹿 児 島		** (240.23)	** (16.19)	** (49.78)	○ (0.27)	** (11.58)	** (27.25)	** (119.42)
佐 賀		** (516.65)	** (109.33)	** (90.80)	** (35.13)	○ (0.17)	** (99.42)	** (472.33)
九 州 (1)		** (70.18)	** (12.01)	** (13.54)	** (45.48)	** (39.10)	○ (0.26)	** (5.98)
九 州 (2)		** (81.75)	** (11.61)	** (8.33)	** (31.26)	** (56.51)	○ (1.16)	○ (0.05)
全 国		** (19.25)	** (157.20)	** (10.38)	** (93.57)	** (151.11)	** (18.87)	** (148.31)
標 本 数		220	277	141	292	119	116	1,046

(2) 実胸高直径と推定胸高直径

※	標 本	福 岡	長 崎	熊 本	鹿 児 島	佐 賀	九 州 (1)	九 州 (2)
福 岡		○ (0.19)	** (1,000以上)	** (60.22)	** (149.52)	** (264.85)	** (10.78)	** (322.26)
長 崎		** (1,000以上)	○ (0.02)	** (326.20)	** (514.36)	** (25.08)	** (470.42)	** (865.34)
熊 本		** (104.91)	** (423.03)	○ (0.08)	** (5.00)	** (72.44)	** (22.75)	** (19.48)
鹿 児 島		** (150.38)	** (379.63)	* (3.45)	○ (0.40)	** (69.43)	** (35.99)	** (11.11)
佐 賀		** (723.10)	** (27.16)	** (82.04)	** (179.70)	○ (0.08)	** (287.58)	** (338.03)
九 州 (1)		** (20.90)	** (748.19)	** (12.35)	** (51.16)	** (171.04)	○ (0.01)	** (164.98)
九 州 (2)		** (154.46)	** (258.79)	** (8.96)	○ (0.40)	** (25.39)	** (39.04)	○ (1.41)
全 国		** (31.08)	** (784.15)	** (22.77)	** (87.59)	** (184.48)	** (22.99)	** (187.82)
標 本 数		220	277	141	292	119	116	1,046

○：有意差なし，*：5%有意，**：1%有意。

注）全国とは「ヒノキ一般林分密度管理」を示す。（ ）内は F 値。

※ 管理図の係数

おなじく図 2 に示す平均胸高直径の場合では、福岡が左端に来て、次に九州 (1) と全国のグループ、その次に熊本、鹿児島、九州 (2)、佐賀、長崎の順に配列される。グループ内での順序は幹材積の場合とおなじく地域によって多少変化する。なお表 4 の最多密度曲線の係数 K_2 の値と、表 5 の自然枯死曲線の K_3 の値の地域間の順序も以上の平均直径の場合に累積偏差で配列した地域間の順序とほぼ一致している。

なお累積偏差の値の最大と最小の範囲を示すと、ha あたり幹材積では福岡の管理図を佐賀の標本にあてはめた場合の 27% から、その逆の場合の -22%、平均直径では福岡の管理図を長崎の標本にあてはめた場合の 24% からその逆の場合の -19% におよんでいる。

2. 回帰式による検定

大友⁵⁾は既存の材積表の適合性を検定する方法として材積表値と実測材積との一次回帰式を求め、(16) 式でこの回帰式が 45° 線にのるかどう、すなわち両材積値の間に有意な偏りがあるかどうかを調べた。

$$F = \frac{(n-2) \left[n(\hat{a}-a)^2 + 2 \sum_{\alpha=1}^n X_{\alpha}(\hat{a}-a)(\hat{b}-b) + \left(\sum_{\alpha=1}^n X_{\alpha}^2 \right) (\hat{b}-b)^2 \right]}{2 \sum_{\alpha=1}^n (Y_{\alpha} - \hat{a} - \hat{b}X_{\alpha})^2} \dots (16)$$

$[\hat{a} \cdot \hat{b} : Y = \hat{a}X + \hat{b}]$ の係数、ただし、 Y は実測値、 X は推定値、 n : データ数、 $\hat{a}=0$ 、 $\hat{b}=1$ 、 X_{α} : 個々の X の値、 Y_{α} : 個々の Y の値、 F : F 検定もちいる値]

ここで、この大友⁵⁾の方法による検定を行った。

各組の標本の実測値 (ha あたり幹材積、平均胸高直径) に対する 8 種の林分密度管理図による推定値の回帰式を求め、(16) 式によって適合性を検討した結果は表 7 に示すとおりである。表の縦らんは管理図の地域の係数、横らんは標本の地域を示す。

この検定の結果からみると、自県の標本を基として調製した管理図は自県に、また九州 (1) と九州 (2) も資料の収集地域に十分適用できる。他の地域にも適合する管理図は数が少なく、また地域性に一定の傾向が認められなかった。さらに全国すなわち「ヒノキ一般林分密度管理図」(安藤¹⁾調製) は九州地域および九州各県に適用するには偏りが大きいことが認められた。

以上の検定結果で有意差のない場合と 5% で有意差のある場合に、その変動係数を示すと (表 6 参照)、幹材積の場合は 11~14% の範囲にあり、また平均胸高直径の場合は 7~10% の範囲にあり、幹材積よりも平均直径の方が小さい。これらの値は密度管理図を利用する際の精度の指標となるであろう。

V ま と め

以上のとおり、九州におけるヒノキ林分密度管理図の調製とその適合性の検討を行った。

資料としてプロットレス法で求められた調査資料を多く利用したが、これらの資料も林分密度管理図の調製資料として十分使えることが分かった。

調製された各県および九州全域の管理図は、それぞれその基となった標本にあてはめた場合十分使用できる精度であったが、他地域に適合するものは少なかった。また適合性からみても地域性に意味のある一定の傾向を認めることはできなかった。

九州全域を対象とした 2 つの管理図のうち九州 (2) の管理図は九州 (1) の標本にもよく適合した。

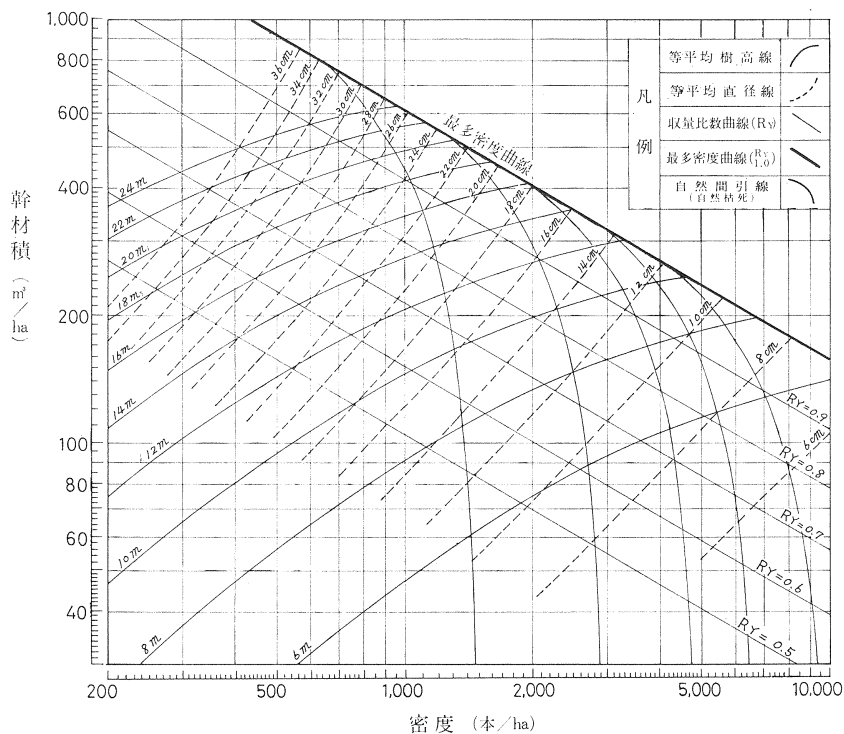
また安藤¹⁾の全国を対象とした管理図は九州各県および九州全域の標本には十分適合するとはいえな

った。

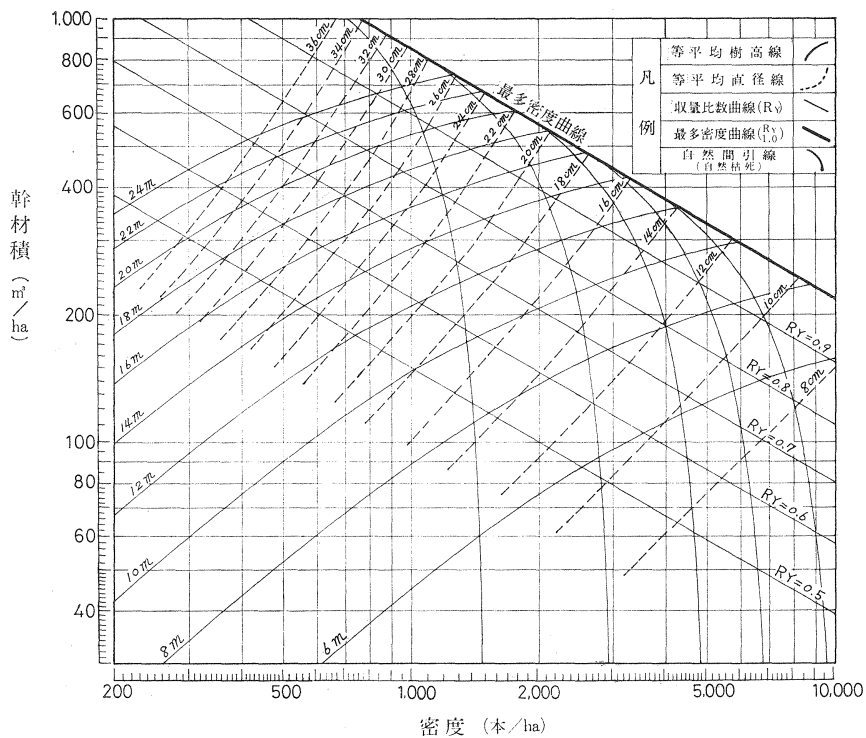
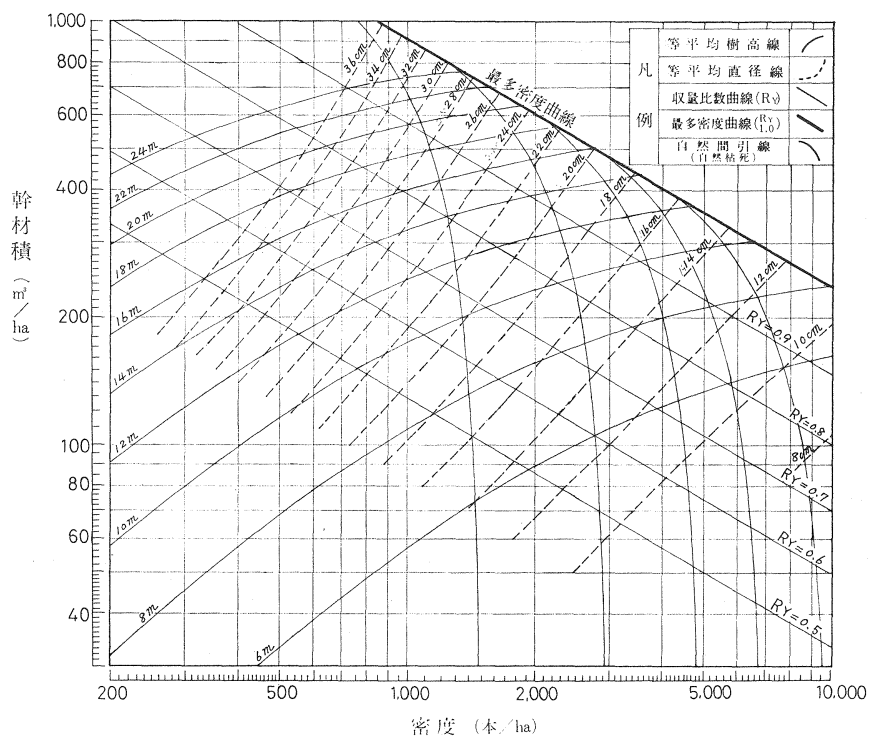
以上の結果から各県は自県の密度管理図を使用した方が適合性は高く、九州全域を対象とする密度管理図としては九州（2）の管理図を使用した方がよいと考えられた。なお九州（2）の管理図を各県の標本に適用した場合幹材積では累積偏差は $-10\sim-12\%$ 、変動係数で $12\sim17\%$ の範囲であり、平均直径では累積偏差 $-9\sim-11\%$ 、変動係数 $7\sim14\%$ の範囲であった。

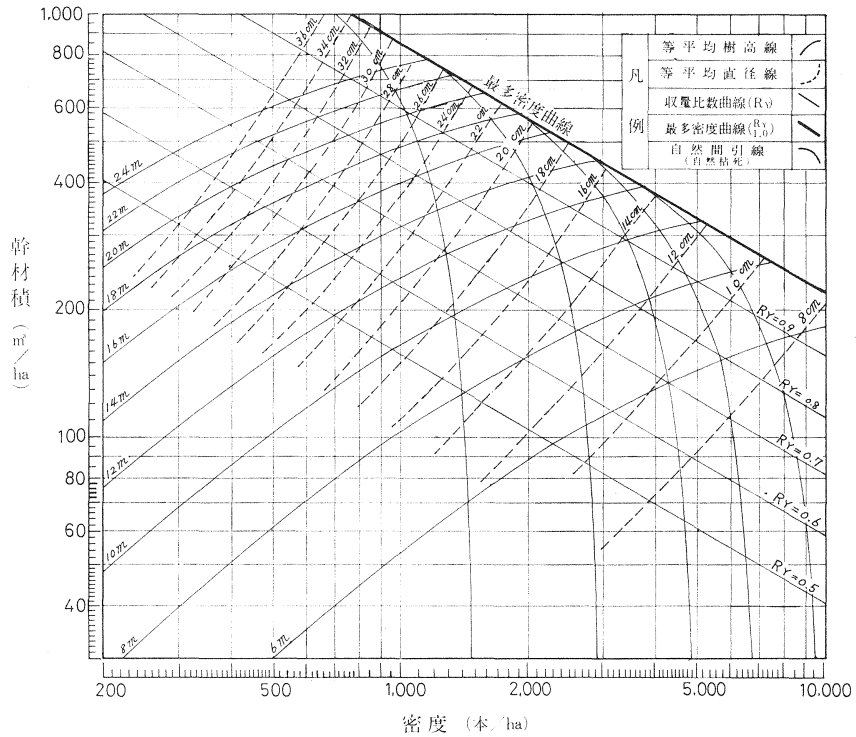
引用文献

- 1) 安藤 貴：同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究，林試研報，210，1～153，（1968）
- 2) 福島敏彦・高木潤治・竹下敬二・田形正義：ヒノキの林地生産力（樹高）の立地解析について—福岡県及びその周辺地域のヒノキ林の場合—林業試験場時報（福岡県），23，1～34，（1974）
- 3) 飯盛 功：ヒノキ林分密度管理図の作成について—九州地方5県および九州全域の密度管理図—日林九支研論集，29，135～136，（1976）
- 4) 真辺 昭：林分密度管理図の作製，農林研究計算センター報告，A11，27～121，（1975）
- 5) 大友栄松：材積表の検定について，日林誌，38，234～237，（1956）
- 6) 林野庁・林業試験場：九州地方ヒノキ林分収穫表，林野庁・熊本営林局，44～49，（1957）
- 7) SPURR, S. H. : Forest Inventory, Ronald press, p. 75, (1952)
- 8) 山田茂男・村松保男：例解測樹の実務，地球出版株式会社，119～120，（1963）

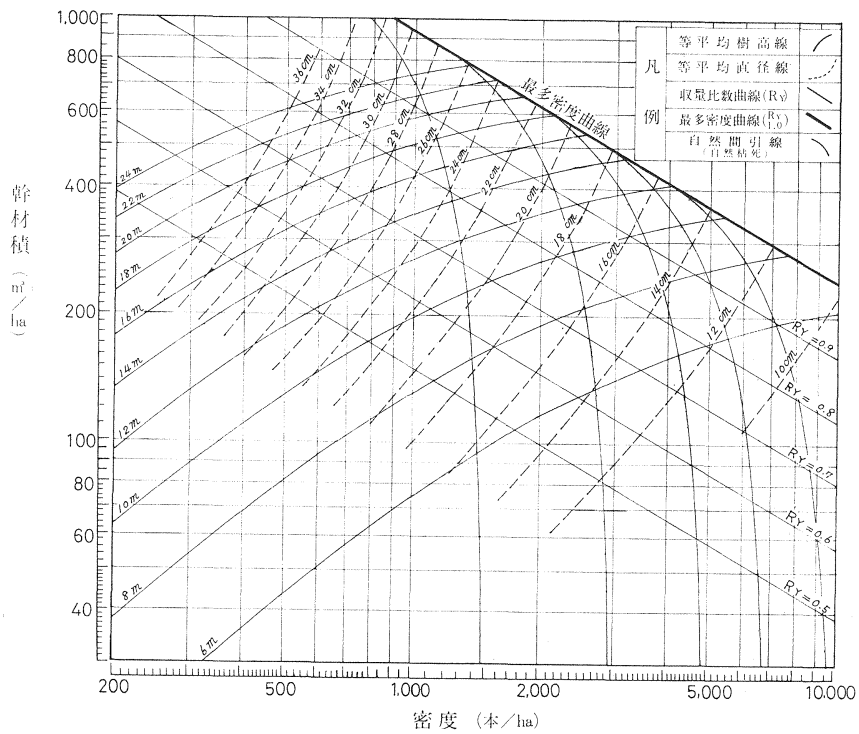


付図1. ヒノキ林分密度管理図（福岡県）

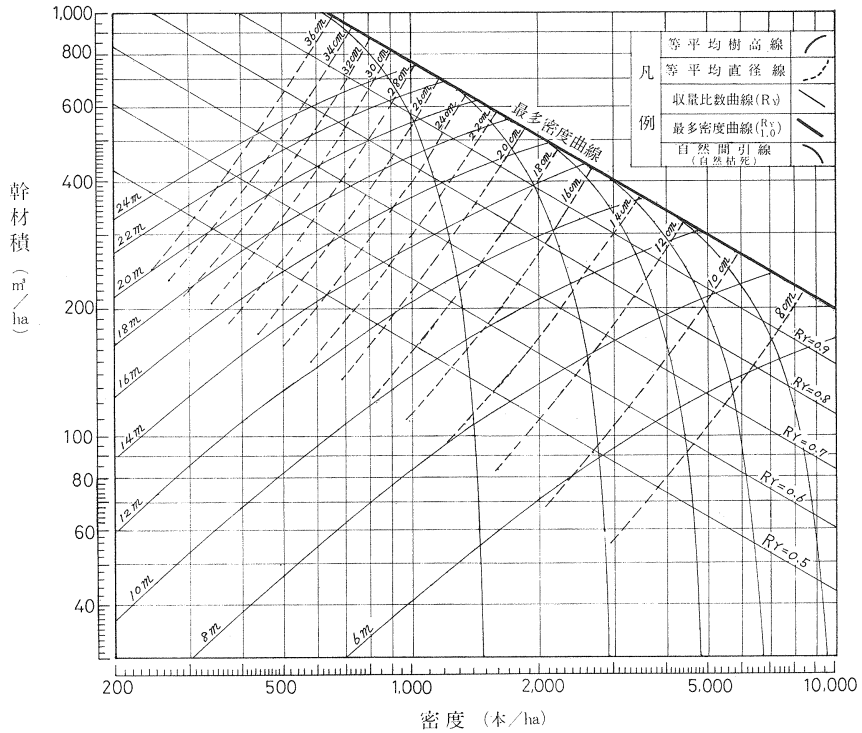




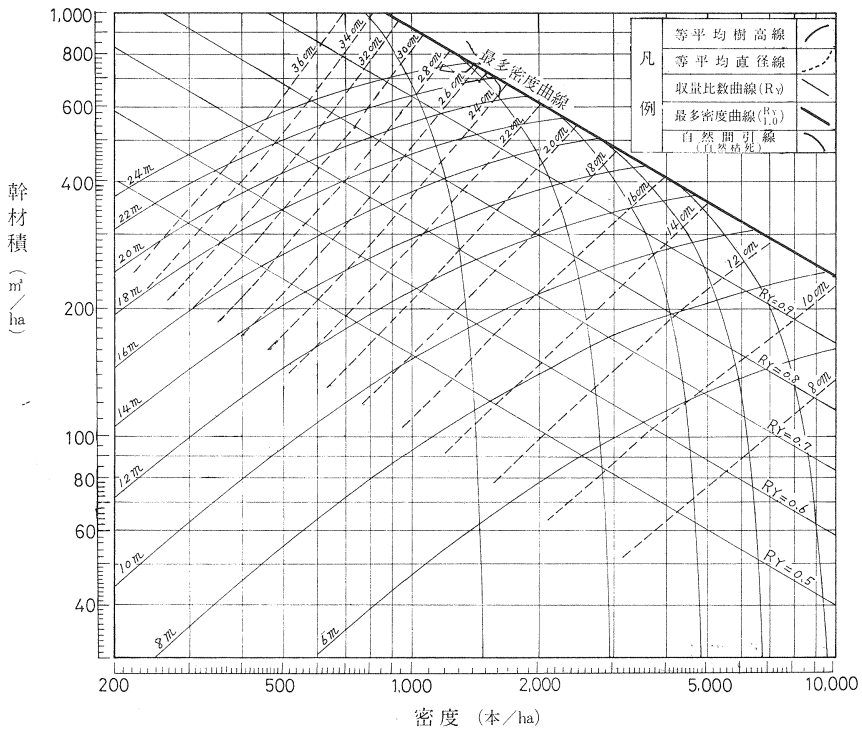
付図4. ヒノキ林分密度管理図（鹿児島県）



付図5. ヒノキ林分密度管理図（佐賀県）



付図 6. ヒノキ林分密度管理図〔九州 (1)〕



付図 7. ヒノキ林分密度管理図〔九州 (2)〕