

長伐期施業に対応した鹿児島県ヒノキ人工林管理基準

長濱孝行

鹿児島県林業試験場育林部

要旨：鹿児島県独自のヒノキ人工林管理基準を作成するため、既存の林分調査のデータを基に、林分密度管理図、地位指数曲線を調製し、両者の構成関数を用いて新たな収穫表を作成した。本研究では最多密度曲線の傾きも調製の対象とした。その結果、林分密度管理図においては、従来基準より ha 当たり幹材積、平均直径の精度が向上した。地位は Mitscherlich 式で示された地位指数曲線を用いて 3 区分された。収量比数 0.70 をガイドラインとした場合、新収穫予測から得られる各林分構成因子の数値は従来基準（林野庁）に比べて小さくなる傾向であった。

キーワード：収穫表，収量比数，地位指数曲線，ヒノキ人工林，林分密度管理図

Management standard for Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations applied to long-rotation management in Kagoshima Prefecture. Takayuki NAGAHAMA (Division of Silviculture, Kagoshima Prefectural Experiment Station, Kagoshima 899-5302, Japan) *Bulletin of the Kagoshima Prefectural Experiment Station* 9 :7-25 (2005)

Abstract : In order to prepare the original management standard of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations on Kagoshima prefecture, the stand-density control diagram and site index curve were prepared based on existing stand survey. Using both composition function, new yield table were created. The slope of full density curve was also improved in this study. On the stand density control diagram, the accuracy of stem volume per ha. and average diameter improved from the conventional standard. Site quality were divided into 3 ranks based on site index curve applied by the Mitscherlich growth function. In the case of the guideline which set Ry to 0.70, the numerical values of each stand composition factor obtained by new yield prediction were tendency which became small compared with the conventional standard.

Keywords: Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations , Ry (ratio of yield density) , Site index curve , Stand-density control diagram , Yield table

はじめに

鹿児島県（以下「本県」）における私有林人工林面積は約 222 千 ha で森林面積の約 51 % を占めている（鹿児島県林務水産部 2005）。これら人工林の大部分は、戦後の積極的な造林施策を背景としたスギ・ヒノキを主体とした針葉樹造林地で構成されており、現在その主体は 7 齢級を中心とし、蓄積面から充実してきている。

一方、木材価格の長期低迷等に象徴される近年の森林・林業を取り巻く社会情勢の悪化に伴い、本県の針葉樹人工林では主伐が控えられ、順次伐期の長期化が進んでいる。これは、長伐期施業とよばれる森林管理手法の一つであるが、一部の篤林家や事業体を除けば、伐り控えから導かれる「消極的な長伐期施業」としての位置づけが相応しい。こうした実情がどうであれ、本県の現状としては、長伐期化傾向が確実に進んでおり、この傾向に対応した森林管理を推進する必要がある。

しかしながら、この長伐期施業に対応する本県独自のスギ・ヒノキ人工林管理基準が存在せず、林野庁が作成した林分密度管理図（林野庁 1980,1982）や収穫表（林野庁 1957,1965）に依存してきた。

林分密度管理図とは緑色植物と密度との成長法則や保育形式の解析を基礎として、同齢・単純・単層林の密度管理を検討するために作成された図表である（只木 1969, 安藤 1982, 日本林業技術協会 1999）。

また、収穫表とは成長条件が近似している地方において、その樹種が同一の取扱法で施業された場合に、単位面積より生産される材積及びこれに関連する諸要素の基準の数値を、主林木と副林木に分けて、年齢又は特定要素の関数として地位ごとに示した表又は図である（嶺 1955）。上述した収穫表の他に、九州地方においては熊本地方スギ（1955）、飫肥地方スギ（1958）、北九州地方アカマツ（1960）が調製され、各地方において適用されている。

ところが、九州という広範囲に対して 1 つの林分密度管理図を適用することが疑問視されていることや（安藤 1968,1982, 宮島 1989）、収量比数算出の基礎であり、密度の上限である最多密度曲線を超える林分の存在が認められたこと（近藤, 1998）から、林分密度管理図自体の見直しが示唆されてきた。

さらに、収穫表に示される林分構成因子の数値は国有林の林分データを基に調製されており、私有林データは

反映されていない。このことが影響してか、現実林分の数値と乖離が発生する場合もあり、行政当局から見直しの要求も強い。

これらのことから、本県民有林のデータを用いた人工林の林分密度管理図、地位指数曲線及び収穫表を早急に調製し、これらを基にした長伐期化にも対応しうる人工林管理基準の構築に資する必要がある。

筆者は既報（長濱 2003）により、スギについて本県独自の林分密度管理図を調製し、これまで樹種によって一律とされていた最多密度曲線の傾きも調製の対象とし、その精度を向上させた。さらに、同データから地位指数曲線を導出し、林分密度管理図に示される諸関数式を用いて新たな収穫予測手法を構築した（長濱・近藤印刷中）。これにより、従来まで整合性の欠如していた林分密度管理図、地位指数曲線、収穫表の3者の相互関係を確立している。

本研究では、これまで蓄積された民有林におけるヒノキ人工林林分調査データを用い、同手法による本県ヒノキ人工林の林分密度管理図、地位指数曲線及び収穫表を調製するとともに、これらの精度等を検証した。

林分密度管理図の調製

資料の整理

林分密度管理図の調製資料には、当场及び鹿児島県林業振興課による1968年以降の離島を除く県内一円のヒノキ人工林における現地調査資料568点を供試した。林分密度管理図に示される各曲線式は最小二乗法により求められるので、林分密度管理図調製説明書（林野庁1982）に従い、特定の主林木平均樹高階・ha当たり本数階に偏った点数を考慮し、各階に含まれるデータ数が10点以下になるよう乱数表を用いて削減し、計453点のデータを使用した（表1）。各調査資料の結果に基づき、各林分ごとに主林木平均樹高、ha当たりの本数、ha当たりの幹材積、ha当たりの胸高断面積合計、林分平均胸高直径、林分平均樹高を計算した。幹材積の算出にあたっては、立木幹材積表（1970）を用いた。なお、今回用いた資料における林齢の範囲は3～84年生である。

異常資料の棄却

453点のデータについては、以下に示す林分構成因子間の相互関係により吟味した。

- ・林分形状高と主林木平均樹高，林分密度との関係

$$HF=a_1+a_2 \cdot Ht+a_3 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (1)$$

- ・平均胸高直径と断面積平均直径，林分密度との関係

$$\bar{d}=b_1+b_2 \cdot \bar{d}_g+b_3 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (2)$$

- ・平均樹高と主林木平均樹高，林分密度との関係

$$H=c_1+c_2 \cdot Ht+c_3 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (3)$$

- ・平均単幹材積と主林木平均樹高，林分密度との関係

$$\log v=d_1+d_2 \cdot \log Ht+d_3 \cdot \log N \quad (4)$$

ここで、HF：林分形状高，Ht：主林木平均樹高，N：ha当たり本数， \bar{d} ：平均胸高直径， \bar{d}_g ：断面積平均直径，H：平均樹高，v：単木平均幹材積， a_i ， b_i ， c_i ， d_i は算出される定数である。

これらの関係式において、各因子による推定値と実測値の残差を残差標準偏差で除した値が、t分布表の1%値を超える調査地には2点、5～1%にある調査地には1点のスコアを与え、スコア合計が4点以上になるものを異常資料として棄却することとした。

なお、今回の各回帰式における残差標準偏差Sは次式で算出した。

$$S=\sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}{N - P - 1}}$$

ただし、 y_i ：実測値 \bar{y}_i ：回帰式による推定値
N：資料数 P：回帰式の変数の数

(1)～(4)式にデータを代入し重回帰式で解いた結果、次の(5)～(8)式が得られた。各式に付した R^2 およびSはそれぞれ、重相関係数、残差標準偏差を示す。

これら4つの重回帰式に対する各林分の吟味結果から、合計6点を異常資料として検出し棄却した（表2）。

$$HF=0.99941+0.40908 \cdot Ht+0.04787 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.92181, S=0.4940$$

$$\bar{d} = -0.01111+0.98805 \cdot \bar{d}_g - 0.00462 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.99517, S=0.4525$$

$$H=0.31882+0.99878 \cdot Ht - 0.11770 \sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.99385, S=0.3151$$

$$\log v = -1.80204+2.28546 \cdot \log Ht - 0.46652 \cdot \log N \quad (8)$$

$$R^2 = 0.94631, S=0.1045$$

表1 主林木樹高, ha当たり本数別調査地一覧表

The number of investigation points classified by dominant trees height and number of trees per ha.

ha当たり本数 Number of trees per ha.	主林木樹高 Dominant trees height (m)													計 total	
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26		
0 ~ 200														0	
201 ~ 400								2			1		1	4	
401 ~ 600								2	6	1	3	2		14	
601 ~ 800								4	8	8	9	7	6	43	
801 ~ 1000					1	3	10	10	10	10	3	3		40	
1001 ~ 1200					4	6	10	10	10	10	3			43	
1201 ~ 1400				1	2	10	10	10	10	7	1			41	
1401 ~ 1600			1		6	10	10	10	10	1	1			39	
1601 ~ 1800					4	10	10	10	3	3				30	
1801 ~ 2000					5	9	10	6	1					31	
2001 ~ 2200					9	5	8	4						26	
2201 ~ 2400			1	2	9	7	10	1	3					33	
2401 ~ 2600				1	1	6	3	3						14	
2601 ~ 2800	1	1	2	7	4	4								19	
2801 ~ 3000		2	5	5	4	3	2							21	
3001 ~ 3200			1	4	2	2								9	
3201 ~ 3400			3	7	2									12	
3401 ~ 3600			1	5	2	2	1							11	
3601 ~ 3800			3	3	3	1								10	
3801 ~ 4000			1	1										2	
4001 ~ 4200			4											4	
4201 ~ 4400				2	1									3	
4401 ~ 4600														0	
4601 ~ 4800														0	
4801 ~ 5000				1										1	
5001 ~ 5200				2										2	
5201 ~ 5400			1											1	
計 total		1	4	25	48	62	82	85	72	42	18	12	1	1	453

表2 重回帰分析により棄却された異常資料

The unusual data rejected by multiple regression analysis

調査地No. Survey plot No.	林分形状高 Stand form height	平均胸高直径 Average D.B.H.	平均樹高 Average height	平均単木材積 Average single tree volume	スコア計 Sum of scores
8	2	2			4
218	2	2			4
230		2	2		4
239		2	2		4
548	2			2	4
560	2	2		2	6

表3 主林木樹高階別の競争密度効果の逆数式の係数

Constant of A and B in the reciprocal equation of competition-density effect in each height class

樹高階 (m) Height class	A	B	相関係数 (R) Correlation coefficient	データ数 n
8	0.00628	4.75067	0.733	46
10	0.00341	4.59347	0.670	61
12	0.00270	2.06920	0.770	81
14	0.00252	1.06326	0.853	83
16	0.00161	1.04107	0.827	70
18	0.00087	1.38420	0.707	46
20	0.00117	0.60701	0.747	18
22	0.00072	0.86236	0.586	13

林分構成因子間の関係式の再計算

異常資料の棄却後のデータ 447 点を用い、林分構成因子間の関係式を再計算し、以下の 4 式を得た。

$$HF=0.68083+0.41279 \cdot Ht+0.08038\sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (9)$$

$$R^2 = 0.98482, S = 0.2154$$

$$\bar{d} = -0.0432+0.99465 \cdot \bar{d}_g - 0.02916\sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.99902, S = 0.20202$$

$$H=0.30215+0.9966 \cdot Ht - 0.10751\sqrt{N} \cdot Ht/100 \quad (11)$$

$$R^2 = 0.99427, S = 0.30129$$

$$\log v = -1.24224+2.05563 \cdot \log Ht - 0.5621 \cdot \log N \quad (12)$$

$$R^2 = 0.95857, S = 0.08515$$

収量密度効果の逆数式の計算

林分密度管理図の等平均樹高曲線は、 h_a 当たりの本数と幹材積の関係式(13)で示され、収量密度効果の逆数式とよばれる。

$$\frac{1}{V} = A + \frac{B}{N} \quad (13)$$

また、単木レベルでみると(14)式で示され、競争密度効果の逆数式とよばれる。

$$\frac{1}{v} = A \cdot N + B \quad (14)$$

ここで、 V : h_a 当たり幹材積、 v : 単木幹材積、 N : h_a 当たり本数である。なお、 A, B はデータから次式によって計算できる(吉良 1960)。

$$A = \frac{V \cdot v^2 - v \cdot v \cdot V}{V^2 \cdot v^2 - (v \cdot V)^2} \quad (15)$$

$$B = \frac{V^2 \cdot v - V \cdot V \cdot v}{V^2 \cdot v^2 - (v \cdot V)^2} \quad (16)$$

この A, B は生育段階によって異なり、主林木平均樹高(Ht)との関係式が次式によって示されることが知られている(安藤 1968)。

$$A = b_1 \cdot Ht^{b_2} \quad (17)$$

$$B = b_3 \cdot Ht^{b_4} \quad (18)$$

したがって、資料を 2m 樹高階ごとに分け、各樹高階ごとに(15),(16)式で各樹高階別の A, B を求める。ここでは、式の特性上、データ数が 3 点以下の樹高階は削除した。

次に、各樹高階の代表樹高と A, B との関係式を(17),(18)式において最小二乗法で求め、 $b_1 \sim b_4$ の初期値を決定する。このとき、 A, B の少なくとも一方が 0 または負の値を示す 4m 及び 6m 階は除外した(表 3)。こうして次の初期値を得た。

$$b_1 = 0.421043, b_2 = -2.032003,$$

$$b_3 = 317.3606, b_4 = -1.999029$$

また、(17),(18)の式を(14)に代入すると、

$$\frac{1}{v} = b_1 \cdot Ht^{b_2} \cdot N + b_3 \cdot Ht^{b_4} \quad (19)$$

あるいは、

$$v = (b_1 \cdot Ht^{b_2} \cdot N + b_3 \cdot Ht^{b_4})^{-1} \quad (20)$$

とおくことができる。ここで、(20)式の両辺に N を乗すると、

$$V = (b_1 \cdot Ht^{b_2} + b_3 \cdot Ht^{b_4} / N)^{-1} \quad (21)$$

とおくことができ、これは収量密度効果の逆数式(13)の逆数をとった形と等しくなる。

逐次近似法による係数の決定

収量密度効果の逆数式を表す(21)式の各係数 $b_1 \sim b_4$ は、前出のとおり主林木平均樹高の各階層に分けられた A, B から計算されたもので、各林分の資料にあてはめて算出されたものではない。

このことから、(21)式に個々の林分の Ht と N を代入して V を推定すれば、相当の誤差が考えられる。そこで、個々の林分データへの当てはめには、最小二乗法による係数算出が一般的である。この場合、(21)式は非線形と呼ばれる数式であり、通常回帰モデルによる係数の算出は不可能となる。

このような非線形モデルに対する数値解法はいろいろな方法(柳井ほか 1977)が発表されているが、真部(1975)は逆数式の改良について、安藤(1968)の方法に改良を加え、D.W.Marquardt(1963)の逐次近似法を用いている。今回は同法に準じ、株式会社ライトストーン(2002)の Origin Version 7.0 の非線形曲線フィット機能を利用した。この機能では、Levenberg-Marquardt 法に基づいて各パラメータが求められる。前項で求めた $b_1 \sim b_4$ の値を初期値として、(21)式による推定材積と実測材積との重み付き残差平方和が最小となるように $b_1 \sim b_4$ を定めた。ここで、計算手順については既報(長濱 2003)に従い、重み と、その算出に必要な(12)式を変換したものを以下に示した。

$$(22)$$

$$v = 0.057248 \cdot Ht^{2.05563} \cdot N^{-0.5621} \quad (23)$$

ここで、 \bar{v} は(20)式で得られる推定平均幹材積であるから、重み はそれぞれの主林木平均樹高と h_a 当たり本数から計算できる。

Levenberg-Marquardt 法により 54 回のステップで反復が終了し、次の各係数及び重み付き残差平方和を得た。

$$b_1 = 0.12065, b_2 = -1.58049,$$

$$b_3 = 3673.414, b_4 = -2.85697, \quad SS = 21.187$$

こうして得られた係数を(21)式に当てはめ、最終的な

収量密度効果の逆数式は次式となった。

$$V=(0.12065 \cdot Ht^{-1.58049} + 3673.414 \cdot Ht^{-2.85697}/N)^{-1} \quad (24)$$

各種曲線の導出

・等平均樹高曲線

収量密度効果の逆数式である(24)式を用いて、与えられた上層樹高(Ht)に対する ha 当たり本数(N)と ha 当たり幹材積(V)の関係を求めることができる。

・競争比数と限界競争比数

(14)式において N を 0 に漸近させると、 $1/v=B$ となり、 $v=1/B$ は競争密度効果を示す等平均樹高曲線上で、無競争状態の幹材積を示す。ここで競争比数を R_c とおき、 $R_c=v_{Rc}/(1/B)=v_{Rc} \cdot B$ (25) と定義すると、 R_c はある等平均樹高曲線上の無競争状態の幹材積とその線上のある N_{Rc} のときの幹材積 v_{Rc} との比率を示している。

逆数式(24)の括弧内第 2 項と ha 当たり材積 $V(=v \cdot N)$ から、調査地ごとの競争比数は次式で求められる。

$$R_c=b_3 Ht^{b_4} \cdot V/N \quad (26)$$

R_c : 競争比数 V : (24)式による推定幹材積

R_c は、競争の強さに応じて、理論的には 1 から無限小まで変化する。林木相互間に競争のないときは 1 で、競争が強くなるに従いその値は小さくなる。

しかし、単純林においては、現実には自然間引きを起こすため、生育段階に応じた上限の密度がある(安藤 1968)。これらのことから、現実林分においては R_c には一定の限界が存在する。このときの競争比数を限界競争比数とよび R_f とおく。

本報において取り扱った林分データから R_f の値を(26)式により算出すると、 $R_f=0.2371$ が得られた。この値を利用して後述の収量比数曲線、等平均直径曲線や自然枯死線が算出される。

・最多密度曲線

十分な密度をもった個体群の密度 N と平均個体重 w との間にも関係がみられる。この関係は草木植物など高等植物の間でも広く認められており(吉良ら 1957)。

$$w=K \cdot N^a \quad (27)$$

K, a : 常数

により示され、吉良ら(1957)は a の値が種に関係なく、ほぼ $1.5=3/2$ で一定であることから、この関係を自然の同種群落の個体密度に関する $3/2$ 乗則、または単に乗則とよんだ。この $3/2$ 乗則と同様な関係は十分な密度をもった林分の密度 N と、平均幹材積 v または単位面積当

たりの幹材積 V の間にもよく成り立つ事が知られている(吉良ら 1957)。

すなわち、

$$v=K \cdot N^a \quad (28)$$

または

$$V=K \cdot N^{(1+a)} \quad (29)$$

K, a : 常数

幹材積のこの関係は樹種ごとに密度に対する特性を表すものとして只木・四手井(1959,1962,1963)により、自然間引線、full density curve、幹材積に関する $3/2$ 乗則などとも呼ばれているが、四手井(1963)により最多密度曲線と呼ばれ、現在ではこの呼び方が一般的になっている。

さて、(14),(17),(18),(25)式の相互関係から、あらゆる生育段階における密度効果線上である一定の競争比数をもつ幹材積と密度の関係が導ける。

密度効果線上で競争比数 R_c のときの平均幹材積を v_{Rc} 、そのときの密度を N_{Rc} とすると、(14),(25)式から、

$$N_{Rc}=\frac{B}{A} \cdot \left(\frac{1}{R_c} - 1 \right) \quad (30)$$

(30)式の A, B に(17),(18)式を代入し、

$$N_{Rc}=\frac{(1-R_c)}{R_c} \cdot \frac{b_3}{b_1} \cdot Ht^{(b_4-b_2)} \quad (31)$$

(18),(25)式から、

$$Ht=\left(\frac{R_c}{v_{Rc} \cdot b_3} \right)^{\frac{1}{b_4}} \quad (32)$$

(31),(32)式から v_{Rc} について解くと、

$$v_{Rc}=K_2 \cdot N_{Rc}^{K_1} \quad (33)$$

$$K_1=\frac{b_4}{b_2-b_4} \quad K_2=\frac{R_c}{b_3} \cdot \left(\frac{R_c}{1-R_c} \cdot \frac{b_1}{b_3} \right)^{\frac{b_4}{b_2-b_4}}$$

(33)式は(28)式と同形であり、 $R_c=R_f$ とおくことによって、最多密度曲線を密度効果曲線との関連において導くことができる。安藤(1968)はこの関係式を等競争比数曲線と名付けた。

また、(31)式も同様に $R_c=R_f$ とおくことによって、樹高に応じた最多密度を求めることができる。

競争比数は競争密度効果における強さを示す尺度であった。従って、等競争比数曲線は $V=v \cdot N$ との関係から、収量密度効果においては、

$$V_{Rc}=K_2 \cdot N_{Rc}^{K_1'} \quad (34)$$

$$K_1'=\frac{b_2}{b_2-b_4} \quad K_2'=\frac{R_c}{b_3} \cdot \left(\frac{R_c}{1-R_c} \cdot \frac{b_1}{b_3} \right)^{\frac{b_4}{b_2-b_4}}$$

で与えられる。従って、(34)式において $R_c=R_f$ とおくことによって、最多密度曲線が得られる。この式に各係数を代入し、

$$V_{Rf}=9565506.212 \cdot N_{Rf}^{-1.2382} \quad \text{または、}$$

$$\log V_{Rf}=6.980708-1.2382 \cdot \log N_{Rf} \quad (35)$$

が得られる。

一方、(31)式においても同様に計算すると、

$$N_{Rc}=K_4 \cdot Ht^{K_3} \quad (36)$$

$$K_3=b_4-b_2 \quad K_4=\frac{1-R_c}{R_c} \cdot \frac{b_3}{b_1}$$

この式も $R_c=R_f$ とおき各係数を代入すると、任意の上層樹高に対する最多密度が計算できる(37)式となる。

$$N_{Rf}=97966.72986 \cdot Ht^{-1.27648} \quad \text{または、} \\ \log N_{Rf}=4.991079-1.27648 \cdot \log Ht \quad (37)$$

・収量比数と収量比数曲線

現実的な林分では、最多密度曲線よりかなり低い密度で管理されており、最多密度曲線に接近すると風雪害や病害が発生しやすい(安藤 1968)。このような林分の密度管理の問題を検討するため、只木・四手井(1963)、只木(1963,1964)は同一等平均樹高曲線上の最多密度に対する本数比率、すなわち相対密度を用いた。相対密度は最多密度曲線からの隔たりを示す尺度の1つであるが、以下に示す最多密度曲線上の幹材積に対する材積比率、すなわち収量比数も同様に最多密度曲線からの隔たりを示すことができ、また、幹材積と直接結びついていることから、収穫量等を検討する際にはより都合がよいものと言える(安藤 1968)。

ここで、ある生育段階における競争比数 R_c 時点の幹材積を V_{Rc} とすると、そのときの最多密度時の幹材積を V_{Rf} に対する割合が収量比数 R_y であることから、

$$R_y=V_{Rc}/V_{Rf} \quad (38)$$

で示され、 R_y と R_c の一般的な関係は、

$$R_y=(1-R_c)/(1-R_f) \quad \text{または、} \\ R_c=1-(1-R_f)R_y \quad (39)$$

表4 $K_1' \sim K_4'$ の値

The values of $K_1' \sim K_4'$ in the revised edition

R_y	K_1'	$\log K_2'$	K_3	$\log K_4'$
1.00	-1.2382	6.9809	-1.27648	4.9911
0.95	"	6.8508	"	4.9040
0.90	"	6.7285	"	4.8242
0.85	"	6.6111	"	4.7495
0.80	"	6.4968	"	4.6784
0.75	"	6.3839	"	4.6098
0.70	"	6.2709	"	4.5428
0.65	"	6.1565	"	4.4764
0.60	"	6.0395	"	4.4100
0.55	"	5.9184	"	4.3426
0.50	"	5.7915	"	4.2736
0.45	"	5.6569	"	4.2019
0.40	"	5.5120	"	4.1262

と導けることから、(39)式を(34)式に代入し計算すると、

$$V_{Ry}=K_2' N^{K_1'} \quad \text{または、} \\ \log V_{Ry}=\log K_2'+K_1' \log N_{Ry} \quad (40)$$

$$K_2'=\frac{(1-R_f)R_y}{b_1} \left(\frac{1-(1-R_f)R_y}{(1-R_f)R_y} \cdot \frac{b_1}{b_3} \right)^{\frac{b_2}{b_2-b_4}}$$

が得られ、これによって任意の収量比数 R_y のときの幹材積と本数の関係を表すことができる。この関係式によって描写される曲線群が等収量比数曲線である。

また、このときの本数は任意樹高により(36)式から、

$$N_{Ry}=K_4' Ht^{K_3} \quad \text{または、} \\ \log N_{Ry}=\log K_4'+K_3 \log Ht \quad (41) \\ K_4'=\frac{(1-R_f)R_y}{1-(1-R_f)R_y} \cdot \frac{b_3}{b_1}$$

で表すことができる。こうして各収量比数に対応する係数を求めたものが表4である。

・等平均直径曲線

収量比数、主林木平均樹高および平均直径の関係式は明示できないことから、与えられた平均直径と収量比数に対する本数と幹材積の計算については以下のような手順で計算した。

ここで、 G ：断面積合計、 D_g ：断面積平均直径とおくと次式が成り立つから、

$$G = V / HF \quad (42)$$

$$\bar{d}_g = 200 G / (N) \quad (43)$$

平均直径の設定値 D_{hat} と収量比数 R_y の組み合わせごとに、任意の主林木平均樹高値 Ht として(41)式から求められる ha 当たり本数を用いて、(40)式でその幹材積を算出する。この値を(9)式で求められる林分形状高を用いて(42)式により ha 当たりの断面積を求め、(43)式から断面積平均直径を算出する。この D_g を(10)式に代入し平均直径 D を算出する。 $D - D_{hat} = 1.0 \cdot 10^{-7}$ になるまで Ht の数値を調整する。

こうして得られるのは、設定した直径値における各収量比数ごとの ha 当たり本数と ha 当たり幹材積であり、この点を結ぶことにより等平均直径曲線を表すことができる。

・自然枯死線

植栽本数 N_0 から始まる林分は、間伐等の人為的な本数調整が加わらなければ、成長過程に応じた本数減少を呈しながら最多密度曲線に接近し、最終的には最多密度曲線上をたどっていくことになる。植栽本数 N_0 に対する自然枯死線は、平均幹材積 v の関数で、

$$v=(0.12065 \cdot Ht^{-1.58049} \cdot N+3673.414 \cdot Ht^{-2.85697})^{-1} \quad (44)$$

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{K_5 \cdot N_0^{(K_1+1)}} \quad (45)$$

で表すことができ、このとき、

$$K_5 = \frac{K_1 R_f}{b_3} \left(\frac{R_f}{1-R_f} \cdot \frac{b_1}{b_3} \right)^{K_1} \left(\frac{b_2}{b_4} \right)^{K_1+1}$$

である。各係数を代入し、求める植栽本数 N_0 の自然枯死線は (46) 式で示される。

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{-4.45603 \cdot 10^7 \cdot N_0^{(-1.2382)}} \quad (46)$$

・林分密度管理図の作成

両対数軸の林分密度管理図 (図 1) に各曲線群を示した (本報末尾)。

推定精度

安藤 (1968) は調製した林分密度管理図について、推定精度の検討を加えている。そこで、本研究で調製した林分密度管理図に対しても、推定精度の検定を行った。これは、各調査資料の h_a 当たり幹材積の実測値 V と、本密度管理図の (24) 式より推定される h_a 当たり幹材積の推定値 \bar{V} との誤差率を求め、その値が許容誤差率内にあるかどうか統計的に検定するものである (林野庁, 1980)。具体的には、(47) 式により許容誤差率 E の² 値を求め、危険率 5% の² の値 $t_{(0.05)}^2$ を (48) 式で計算し (Sokal and Rohlf, 1973), 両者の有意差を検定した。

$$t^2 = \frac{1}{E^2} \sum \left(\frac{\bar{V}}{V} - 1 \right)^2 \quad (47)$$

$$t_{0.05}^2 = \frac{1}{2} \left(t_{0.10}^2 + \sqrt{2N-1} \right)^2 \quad (48)$$

ここで、 N は資料数、 f は自由度、 E は許容誤差率 20%、 $t_{0.10}$ は学生分布の t 分布の棄却値を示す。

この結果、それぞれの値は、

$$t^2 = 346.15$$

$$t_{(0.05)}^2 = 497.29$$

であり、5% 危険率で両者には有意な差はみられず、許容誤差率内にあることが示された。

また、 h_a 当たり幹材積及び平均直径について、標準偏差、変動係数等の各種精度指標を求めたものを表 5 に示した。推定精度の各項目から、既存資料に比べ本報告の密度管理図で精度が向上していることが明らかになった。

$$\text{標準偏差} : \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}-y)^2}{N-1}}$$

$$\text{許容誤差の最小値} : \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}-y)^2}{\sigma^2}}$$

$$\text{許容誤差率の最小値} : \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}/y-1)^2}{\sigma^2}} \cdot 100$$

$$\text{百分率標準誤差} : \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}/y-1)^2}{N-3}} \cdot 100$$

$$\text{変動係数} : \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}-y)^2}{N-1}} \cdot \frac{N}{\sum y}$$

\hat{y} : 推定値, y : 実測値, N : 調査地数

次に、 h_a 当たり幹材積及び平均直径の誤差率を全資料について計算し、どのような範囲に分布しているか表 6 に示した。この表で改訂版についてみると、誤差率 $\pm 20\%$ 以内では、幹材積で 74.50%、平均直径では 97.09% の調査地が含まれたが、従来版に比べても大きな差は見られなかった。

地位指数曲線の導出

資料の吟味

林分密度管理図は、主林木平均樹高と h_a 当たり本数を説明変数とし、その他の林分構成因子の数値を決定している。一方、地位指数曲線については、その説明変数が林齢になることから、資料の吟味方法が前段とは異なる。

すべての調査データ 568 点について、後述する林分因子間の関係を 2 軸座標にプロットし、その分布の中心線を各種曲線式から導き、理論値 (各項目別に決定される曲線式の目的変数) と実測値から算出される標準偏差を用いることとした。ここで分布範囲の上下限は平均値 (理論値) $\pm 2 \times$ 標準偏差とし、その範囲内で 3 等分するように区分設定を行った。また、吟味において各因子間の分布およびその区分については、図 2 のような概念で構成している。ただし、比較因子によっては線形の差が生じる。

(吟味項目)

- 林齢 (T) に対する主林木平均樹高 (Ht)
- 林齢 (T) に対する h_a 当たり主林木本数 (Nt)
- 林齢 (T) に対する h_a 当たり主林木胸高断面積 (Gt)
- 林齢 (T) に対する h_a 当たり主林木幹材積 (Vt)
- 林齢 (T) に対する主林木平均胸高直径 (Dt)
- 主林木平均胸高直径 (Dt) に対する h_a 当たり主林木本数 (Nt)

表5 ha当たり幹材積,平均直径の推定精度

Accuracy of estimated value of volume per ha and average diameter

項目 Item	ha当たり幹材積 Volume per ha		平均直径 Average diameter	
	改訂版	従来版	改訂版	従来版
	Revised edition	Conventional type	Revised edition	Conventional type
標準偏差 Standard deviation	54.82m ³	56.11m ³	1.89cm	1.95cm
許容誤差の最小値 The minimum value of a permissible error	51.92m ³	53.14m ³	1.79cm	1.85cm
許容誤差率の最小値 The minimum value of the rate of a permissible error	16.69%	17.04%	9.32%	9.40%
百分率標準誤差 Standard error of percentage	17.66%	18.03%	9.86%	9.95%
変動係数 Coefficient of variation	18.29%	18.72%	9.88%	10.22%

表6 ha当たり幹材積,平均直径の誤差率の分布

The distribution of the rate of an error of volume per ha and average diameter

誤差率範囲(%) Range of the rate of an error (%)	ha当たり幹材積 Volume per ha				平均直径 Average diameter			
	改訂版		従来版		改訂版		従来版	
	Revised edition		Conventional version		Revised edition		Conventional version	
	調査地数	百分比	調査地数	百分比	調査地数	百分比	調査地数	百分比
	n	percentage	n	percentage	n	percentage	n	percentage
~ -50	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
-50 ~ -40	2	0.45%	2	0.45%	0	0.00%	0	0.00%
-40 ~ -30	8	1.79%	3	0.67%	0	0.00%	0	0.00%
-30 ~ -20	59	13.20%	44	9.84%	2	0.45%	5	1.12%
-20 ~ -10	94	21.03%	86	19.24%	77	17.23%	83	18.57%
-10 ~ 0	112	25.06%	113	25.28%	184	41.16%	184	41.16%
0 ~ 10	75	16.78%	80	17.90%	122	27.29%	124	27.74%
10 ~ 20	52	11.63%	60	13.42%	51	11.41%	39	8.72%
20 ~ 30	24	5.37%	30	6.71%	9	2.01%	9	2.01%
30 ~ 40	13	2.91%	15	3.36%	1	0.22%	3	0.67%
40 ~ 50	5	1.12%	8	1.79%	1	0.22%	0	0.00%
50 ~	3	0.67%	6	1.34%	0	0.00%	0	0.00%
計 Total	447	100%	447	100%	447	100%	447	100%

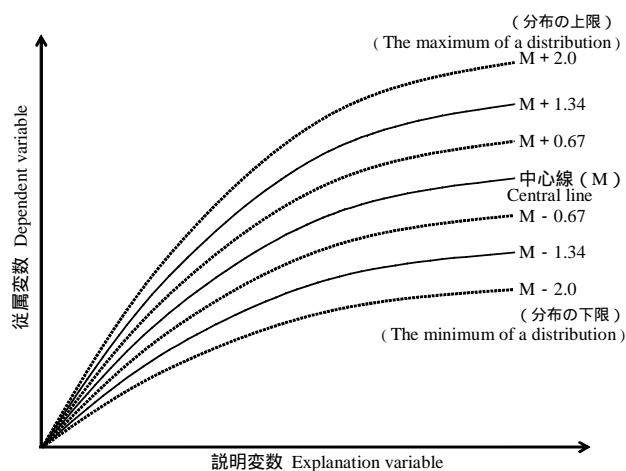


図2 分布および区分の概略

The outline of a distribution and classification

この結果, a ~ f における中心線および標準偏差() については下記のように算出された。中心線算出において, 関係式 a,c,d,e については, 植物の成長関数として利用頻度の高い Mitscherlich ,Logistic ,Gompertz ,Richards 関数(山本ら 1982, 大隅 2001) をあてはめた結果, 決定係数の最も大きいものを採用し, b, f 及び各従属変数の年齢別標準偏差の算出については, 諸式をあてはめ決定係数及び線形から採用式を決定した。

a.

$$Ht=24.68798 \cdot (1-EXP^{-0.08395-0.01836 \cdot T})^{5.41} \quad R^2=0.6378$$

$$Ht=\frac{5.41}{1+EXP^{1.65917-0.03407 \cdot T}} \quad R^2=0.7733$$

b.

$$Nt=35679.32 \cdot T^{-0.93559} \quad R^2=0.5889$$

$$Nt=16752.72 \cdot T^{-1.02113} \quad R^2=0.9019$$

c.

$$Gt=46.21048 \cdot (1-EXP^{0.23847-0.04136 \cdot T})^{\frac{1}{1-0.95046}} \quad R^2=0.2837$$

$$Gt=1.493282 \cdot T^{0.499177} \quad R^2=0.7703$$

d.

$$Vt=538.888 \cdot (1-EXP^{0.1046-0.01919 \cdot T})^{\frac{1}{1-0.12279}} \quad R^2=0.4220$$

$$Vt=2.413452 \cdot T^{0.962702} \quad R^2=0.7283$$

e.

$$Dt=46.06918 \cdot (1-EXP^{-0.05365-0.01457 \cdot T})^{\frac{1}{1-0.04734}} \quad R^2=0.6897$$

$$Dt=1.728765 \cdot 1.013148^T \quad R^2=0.5668$$

f.

$$Nt=5714.545 \cdot EXP^{-0.0737 \cdot Dt} \quad R^2=0.8018$$

$$Nt=\frac{6644.444}{Dt} - 65.8705 \quad R^2=0.9714$$

これらの吟味結果から異常資料を検出するが, ばらつきの大きさに起因する分布範囲の拡散を抑えるために, 図 2 に表示された区域番号をそのレコードの代表値として処理し(例: =「3」), 以下のような Test-1 ~ 6 まで操作を行い, 検出されたデータについてはマーキングを行った。そのマーキング度数の総合評価で異常資料を決定した。

(Test-1)

吟味項目 a において, 分布外(および の区域)を検出

(Test-2)

吟味項目 a ~ f の処理で 2 回以上の分布外を記録したデータを検出

(Test-3)

吟味項目のうち a に対する b ~ e それぞれの絶対差が 2 以上である処理が 3 回以上のデータを検出

(Test-4)

吟味項目 a に対する f の絶対差が 4 以上であるデータを検出

(Test-5)

吟味項目 a ~ f の最大差が 4 以上のデータを検出

これらの結果からマーキングされた回数(度数)が 2 以上であった 96 データを本研究における異常資料として定義し棄却した。

地位の決定

異常資料棄却後の 472 点の林分データを用いて林齢(T)と主林木平均樹高(Ht)との関係から地位区分を行った。

分布の中心線を決定するために, 資料吟味項目 a と同様に Mitscherlich , Logistic , Gompertz , Richards 関数の 4 式を用いた。これらの関数式の当てはめ結果が以下のとおりである。ここでも前出の株式会社ライトストーン(2002)の Origin Version7.0 の非線形曲線フィット機能を利用した。

Mitscherlich 式

$$Ht=29.36548 \cdot (1-EXP^{-0.07411-0.01414 \cdot T}) \quad R^2=0.7287$$

Logistic 式

$$Ht=\frac{21.30978}{1+EXP^{1.32336-0.04846 \cdot T}} \quad R^2=0.7217$$

Gompertz 式

$$Ht=23.34438 \cdot EXP^{-EXP^{0.607520.03147 \cdot T}} \quad R^2=0.7255$$

Richards 式

(収束せず)

この結果から, 地位曲線の中心線は Mitscherlich 式に決定した(以下,「分布中心曲線」)。

つづいて, 分布の範囲を決定するが, 分布中心曲線は任意の林齢に対する期待値であることから, 年齢別に期待値に対する実測データのばらつきを標準偏差で算出し, 林齢に対する主林木平均樹高の標準偏差の関数式を導いた。算出式は以下のとおりである(以下,「標準偏差曲線」)。なお, 分布中心曲線及び実測データの標準偏差, 並びに変動係数の実測値, 期待値を図 3 に示した。

$$Ht=0.232714 \cdot T^{0.573966} \quad R^2=0.8652$$

中心線からの分布範囲は資料吟味と同様に 2 × で設定し, その範囲内を 3 等分して地位の区分を行った。

したがって, 地位 等地の中心線が分布中心曲線で示され, 地位 等地, 地位 等地については, それぞれ,

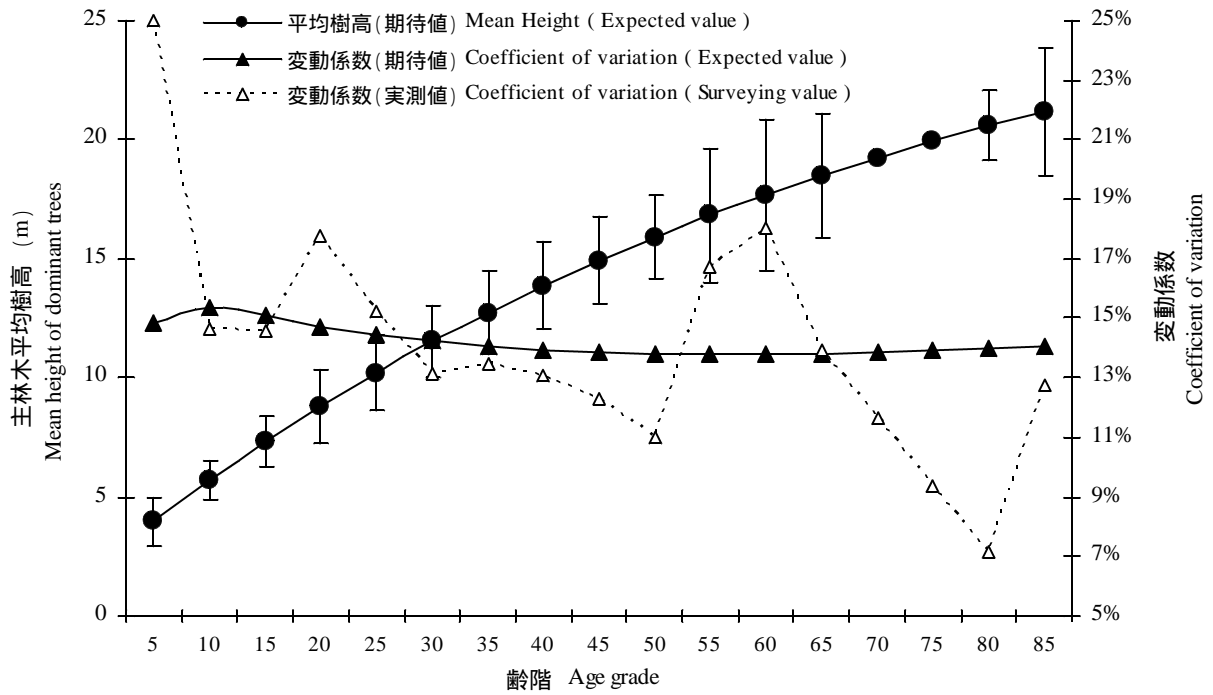


図3 齢階別主林木平均樹高,標準偏差及び変動係数
The mean height of dominant trees, standard deviation, and a coefficient of variation according to age grade

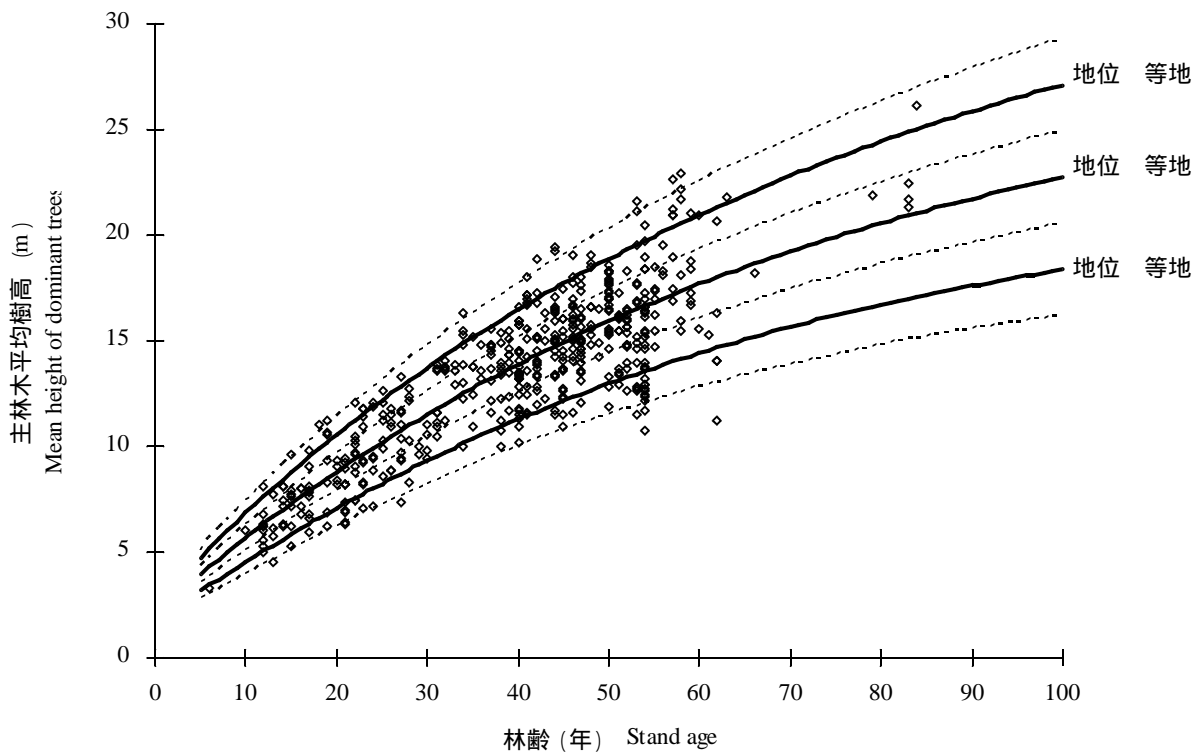


図4 地位区分に関する曲線群
The curvilinear group about site quality classification

分布中心曲線 ± 1.33 標準偏差曲線（符号の「+」が地位 等地）で示した（図 4）。

また、基準林齢を 40 年生にした場合、地位指数曲線は図 5 のように示すことができる。図中の表示範囲は SI=8 ~ 20 であるが、その算出式は、

$$H=H_x+(SI-H_{40})\frac{x}{40}$$

で示される。ただし、H は地位指数 SI に対応する曲線上の x 年における主林木平均樹高の値、 H_x 、 H_{40} はそれぞれ、ガイドカーブ上の x 年、基準年（40 年）における主林木平均樹高の値、同様に、 s_x 、 s_{40} はそれぞれ、x 年、基準年における主林木平均樹高の標準偏差である（南雲・箕輪 1990）。この図から、各林齢に対応する主林木平均樹高の値から、地位指数が読み取れる。

さて、地位曲線について、既存資料（林野庁 1965）と数値と比較してみると（図 6）、地位及び s では下方修正され、地位 H では僅かな上方修正となった。基準林齢を 40 年とした場合、地位 H 、 s の増減はそれぞれ -1.43m、-0.32m、+0.79m であり、100 年生ではそれぞれ、-3.68m、-1.67m、+0.25m となった。

収穫表の作成

主林木平均樹高

前述のとおり、地位の指標として主林木平均樹高を採用したので、地位区分と林齢によって主林木平均樹高は決定される。

主林木本数

樹高以外の要素は本数密度によって影響されることが大きいので、主林木本数を決定する。

前段で決定した地位別に、林齢(T)に対する h_a 当たり主林木本数(N_t)を諸関係式から導き出すことは可能であるが、本数密度については、個々の林分における施業の影響を受けやすいので、諸関係式から導き出される T- N_t の曲線は当てはまりが著しくばらつく。

そこで、林分密度管理図の主要因子である収量比数(R_y)を用いることとした。林齢別に主林木平均樹高が決定しているので、収量比数を設定すれば、それに対応した本数が算出される。つまり、任意の主林木平均樹高(H_t)に対する収量比数(R_y)ごとの本数(N)は、(41)式で与えられる。

本県の管理基準としては、間伐の目安として使用される $R_y=0.7$ （中庸仕立て）を想定し、各林齢に対する主

林木本数を決定することとした。

主林木幹材積、平均胸高直径

この 2 因子についても、主林木本数と同様に林分密度管理図の構成関数式である(9),(10),(24),(42),(43)式を用い算出した。これらの諸式に必要な H_t と N を代入すれば、地位別・林齢別に構成数値が決定される。

副林木構成数値の決定

収穫表における副林木の定義は、当該林齢（あるいは齢階）において間伐されるべき林木の総称である。しかしながら、解析に用いた標準地資料は県内各地で収集された林分情報であり、その施業方法等には差異があり、過去の施業履歴等に大きく影響される。

したがって、本研究における副林木構成因子については、ある林齢で関係式から算出される本数を総立木本数（主副林木合計）、5 年後に関係式から得られる本数を主林木本数、その差を副林木本数とした。同様の手法で副林木の幹材積も算出した。樹高や胸高直径については、収穫表の適用上必要性に乏しいことから省略した。

主副林木合計の構成因子

胸高直径、断面積合計、幹材積については、各齢階に記された主林木樹高、 h_a 当たり本数（主副林木合計）から上述の計算式により導くことができる。

連年成長量（定期平均成長量で代用）は、その齢階における主副林木合計幹材積と前期の主林木幹材積との差を、期間年数（5 年）で除した値であり、平均成長量は、その齢階における主副林木合計幹材積を齢階で除した値である。総収穫量とは、各齢階ごとにその年度までの副林木幹材積累計に主林木幹材積を加えたものであり、成長率 P_v については、現在材積を V_a 、n 年前の材積を V_{a-n} としたときに、次式で示す PRESSLER 式を採用した。

$$P_v = \frac{V_a - V_{a-n}}{V_a + V_{a-n}} \cdot \frac{200}{n}$$

これまでの計算結果を本県ヒノキ人工林収穫表として示した（表 7：本報末尾）。表示範囲は林齢で 10 年生から 100 年生までとした。100 年生以降の予測については、計算上では表示可能ではあるが、解析に用いた資料の林齢範囲が 3 年生から 84 年生であったことを踏まえて省略した。

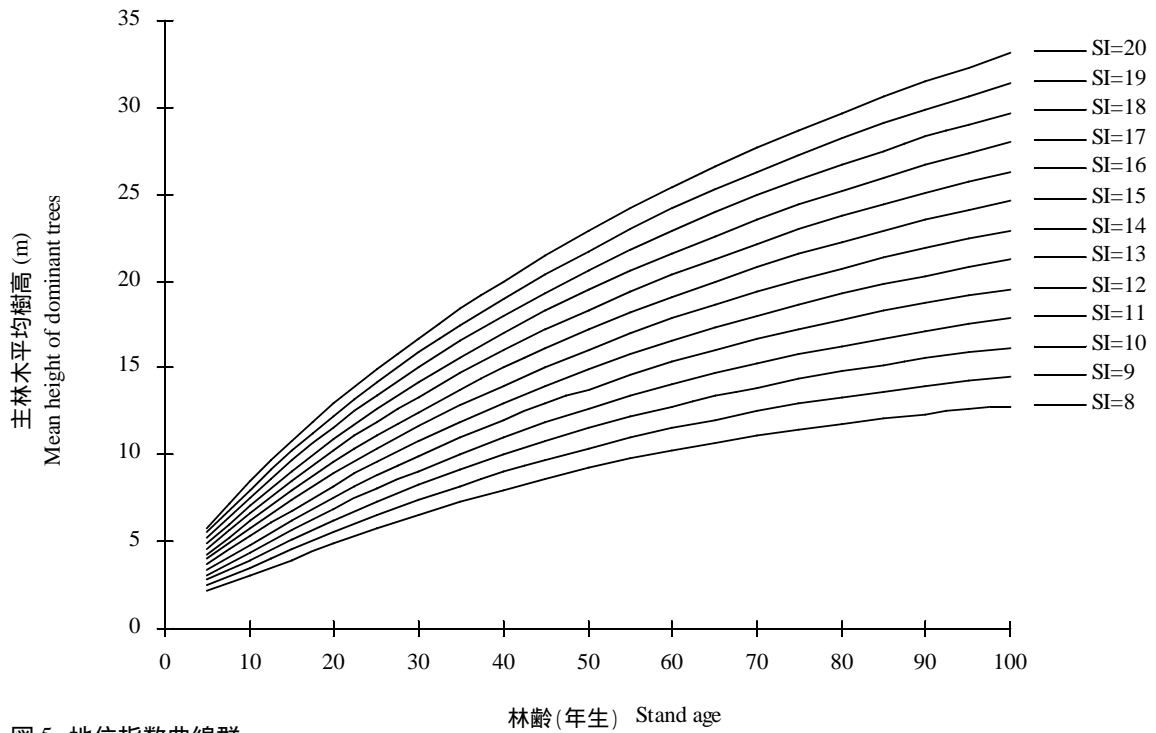


図5 地位指数曲線群
Site index curvilinear group

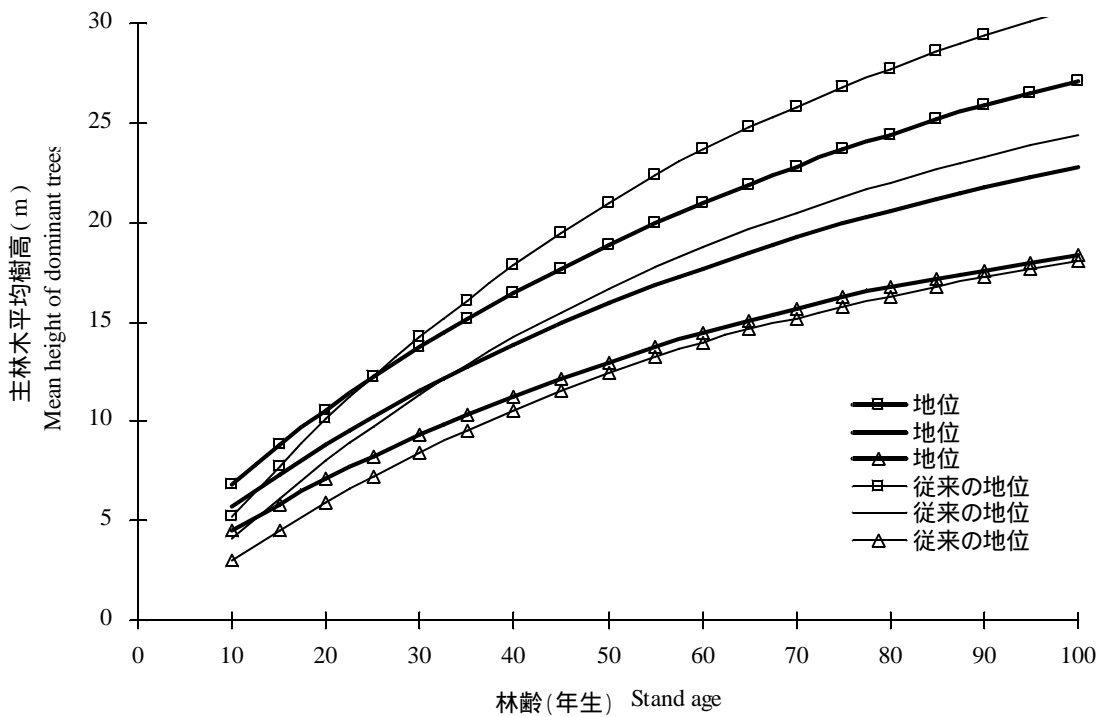


図6 地位区分の比較
Comparison of site quality classification

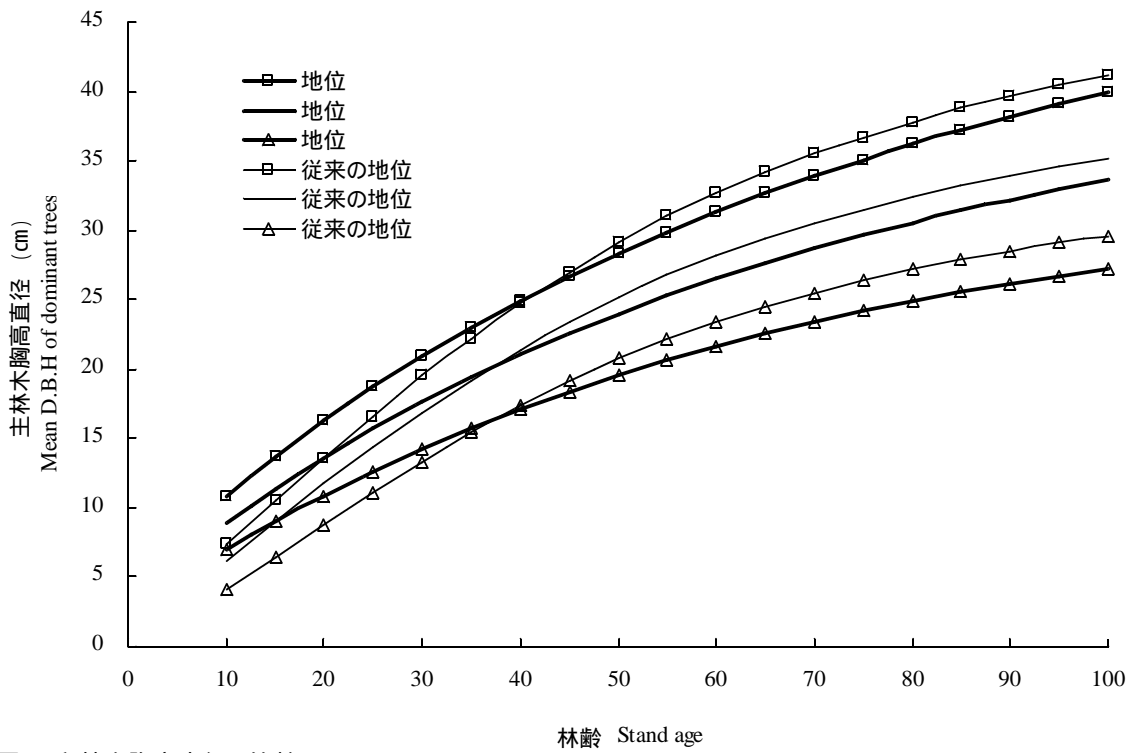


図7 主林木胸高直径の比較
Comparison of Mean D.B.H of dominant trees

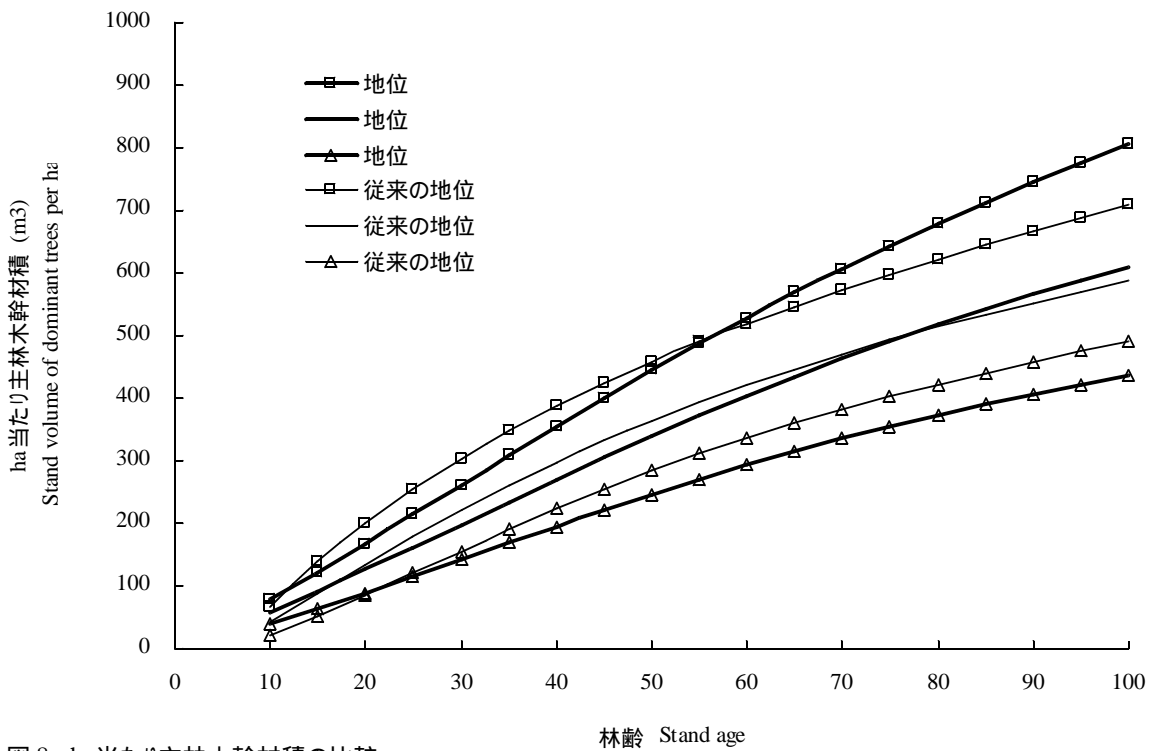


図8 ha当たり主林木幹材積の比較
Comparison of stand volume of dominant trees per ha.

既存資料との比較

今回調製した収穫表の数値と現行の既存収穫表（林野庁 1957）の数値の比較を行った。主林木平均樹高の結果については、既述したので省略する。

図 7 に主林木平均胸高直径の比較結果を示した。既存資料を若干下げる傾向で修正された。比較対象を本県ヒノキにおける標準伐期齢 40 年生でみると、改訂版の地位、それぞれ、24.9cm, 21.0cm, 17.1cm であり従来版に対し+0.2cm, -0.4cm, -0.3cm の増減である。また、表示林齢最大の 100 年生では、それぞれ、39.9cm, 33.6cm, 27.2cm で、従来版に対し-1.3cm, -1.6cm, -0.3cm の増減であった。

これは前述したとおり、本数管理のガイドラインである収量比数を 0.70 に設定した場合の予測である。仮に、収量比数を 0.60 と低めに設定すると、立木密度の減少に伴い、従来版の主林木平均胸高直径よりも大きくなる傾向を示し、反対に収量比数を 0.80 と高めに設定すると、立木密度の増加に伴い反対の傾向を示した。

図 8 には ha 当たり主林木幹材積の比較を示した。胸高直径と同様に比較した場合、40 年生でみると、改訂版の地位、それぞれ、355m³, 270m³, 195m³ であり従来版に対し-34m³, -28m³, -29m³ である。また、表示林齢最大の 100 年生では、それぞれ、805m³, 610m³, 435m³ で、従来版に対し+97m³, -21m³, -55m³ であった。同じく、収量比数を 0.60 と低めに設定すると、立木密度の減少に伴い、従来版の ha 当たり幹材積より小さくなる傾向を示し、収量比数を 0.80 と高めに設定すると反対の傾向を示した。

主林木平均樹高以外の林分構成因子の数値については、そのガイドラインとなる成立本数に依存するところが大きい。すなわち、設定する収量比数により左右されることになる。今回は、間伐の中庸仕立ての目安とされている収量比数 0.70 を用いた。本県のガイドラインとしては、現場の林業技術者に親しまれている収量比数の設定が望ましいと思われることから本手法を用いた。

本県スギ人工林の場合（長濱・近藤 印刷中）、収量比数 0.70 という一般的に中庸仕立てとされる本数基準下では、主林木の平均樹高、胸高直径及び ha 当たり幹材積の予測値はいずれも従来版を上回る傾向であった。しかし、今回のヒノキでの収穫予測では、地位 等地の高齢級時点の ha 当たり幹材積を除くと、従来版を下方修正する結果であった。これは、従来版が九州地方という広範囲で予測していることに起因していると考えられ、

さらに、従来版のヒノキの収穫表の調製資料に本県のデータが含まれていない（林野庁 1957）といった問題点も指摘できる。このことから、林地生産力の違いは地域により顕著であると考えられ、地域独自の収穫予測が必要であると思われる。

本研究では収量比数の設定、すなわち成立本数の増減により林分構成因子の数値は変動する。この性質を利用し、個々の林分の現況情報から予測できるシステム収穫表へと発展させていきたい。

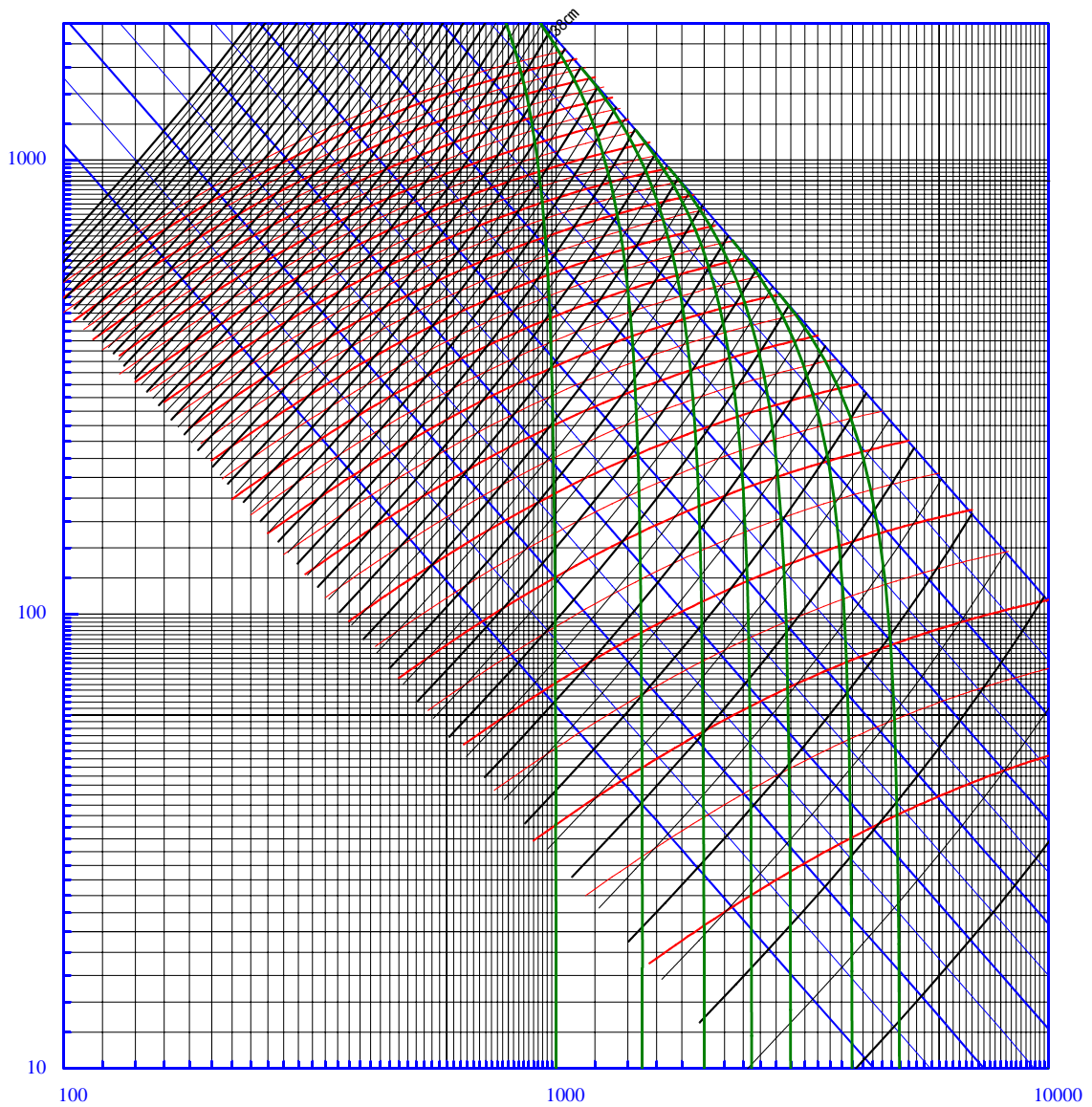
謝 辞

本研究を遂行するにあたり、(独)森林総合研究所九州支所の近藤洋史博士には、各種理論や解析方法について大変有益な御助言を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

引用文献

- 安藤貴（1968）同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究．林試研報 210：29-120．
- 安藤貴（1982）林分の密度管理，pp.126，農林出版，東京．
- D.W.Marquardt（1963）An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters．J.Soc.Indust.Appl.Math. Vol11-2．
- 株式会社ラートストーン（2002）Origin ユーザーマニュアル．675pp，東京．
- 鹿児島県林務水産部（2005）鹿児島県林業統計．
- 吉良龍夫（編）（1957）密度・競争・生産．みやま 8:13-24,9:9-18,11,12:34-35
- 吉良龍夫（1960）植物生態学第 巻上．古今書院，東京．
- 近藤洋史（1998）高齢林分調査データの林分密度管理図への適応．日林九支研論 51：9-10．
- 真辺昭（1975）林分密度管理図の作成．農林研究計算センター A11．
- 嶺（1955）収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製．収穫表調製業務研究資料 12．
- 宮島寛（1989）九州のスギとヒノキ．275pp，九州大学出版会，福岡．150．
- 長濱孝行（2003）鹿児島県におけるスギ人工林林分密度管理図の調製．鹿児島県林試研報 8：1-11．
- 長濱孝行・近藤洋史（印刷中）長伐期施業に対応した鹿児島県スギ人工林収穫予測．日林誌

- 南雲秀次郎・箕輪光博(1990)現代林学講義 10 測樹学．地球社．東京．
- 日本林業技術協会(1999)人工林林分密度管理図，全 22 巻，東京．
- 大隅眞一編(2001)森林計測学講義．287pp，養賢堂，東京．
- 林野庁(1955)熊本地方すぎ林林分収穫表調製説明書．収穫表調製業務研究資料 11．
- 林野庁(1957)九州地方ひのき林林分収穫表調製説明書．収穫表調製業務研究資料 19．
- 林野庁(1958)飫肥地方すぎ林林分収穫表調製説明書．収穫表調製業務研究資料 24．
- 林野庁(1960)北九州地方あかまつ林林分収穫表調製説明書．収穫表調製業務研究資料 25．
- 林野庁(1965)鹿児島地方スギ林林分収穫表調製説明書．収穫表調製業務研究資料 33．
- 林野庁(1970)立木幹材積表西日本編．319pp，日本林業調査会，東京．
- 林野庁(1980)スギ人工林林分密度管理図説明書 - 九州地方 - ．
- 林野庁(1982)ヒノキ人工林林分密度管理図説明書 - 九州地方 - ．
- 四手井綱英(編)(1963)アカマツ林の造成 - 基礎と実際 - ，pp326，地球出版，東京．只木良也(1969)林分密度管理図の基礎と応用，pp.126，日本林業技術協会，東京．
- Sokal, R.R and Rohlf, F.J. (1973) Introduction to Biostatistics. (生物統計学．藤井宏一訳，449pp，共立出版，東京)．
- 只木良也・四手井綱英(1959)林木の競争に関する研究，スギで仕立てた模型林分での間伐試験．日林誌 41:341-349
- 只木良也・四手井綱英(1962)林木の競争に関する研究，アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験．日林誌 44:129-139
- 只木良也・四手井綱英(1963)数量的間伐に関する生態学的研究．京大演報 34:1-31
- 只木良也(1963)競争密度効果を基にした幹材積収穫予測．林試研報 154:1-19
- 只木良也(1964)競争密度効果式を用いて検討した間伐と幹材積収穫との関係 - アカマツの場合 - ．林試研報 166:1-22
- 只木良也(1969)林分密度管理図の基礎と応用，pp.126，日本林業技術協会，東京．
- 山本充男・安井鈞・秋山郁男(1982)生長曲線の検討．島根大学農学部研究報告 16：48-52.
- 柳井晴夫ほか(1977)多変量解析法．pp59-62，朝倉書店，東京．



凡例



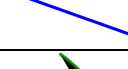

	等平均樹高曲線	Equivalent height curve
	等平均直径曲線	Equivalent diameter curve
	等収量比数曲線	Equivalent yield index curve
	自然枯死線	Natural thinning curve

図1 鹿児島県ヒノキ人工林林分密度管理図

Stand density control diagram for Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations in Kagsohima Prefecture

表 7-1 鹿児島県ヒノキ人工林収穫表(地位 等地)

The yield table of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantation of Kagoshima Prefecture - Site quality -

林齢 Stand age 年	主林木 Dominant trees						副林木 Thinning trees			主副林木合計 Sum total of dominant trees and thinning trees								林齢 Stand age 年
	平均 Average		ha当たり per ha				ha当たり per ha			平均 Average	ha当たり per ha							
	樹高 Tree height m	胸高直径 D.B.H. cm	本数 Stem number 本	幹材積 Stem volume m ³	幹材積連 年成長量 Current increment m ³	幹材積平 均成長量 Mean increment m ³	本数 Stem number 本	幹材積 Stem volume m ³	幹材積 累計 Volume total m ³	胸高直径 D.B.H. cm	本数 Stem number 本	胸高 断面積 Basal area m ²	幹材積 Stem volume m ³	幹材積連 年成長量 Current increment m ³	幹材積平 均成長量 Mean increment m ³	総収穫量 Total yield m ³	成長率 Rate of growth %	
10	6.9	10.8	2,178	79	-	7.9	807	13.7	14	9.9	2,985	24.1	93	-	9.3	93	-	10
15	8.8	13.7	1,723	122	8.6	8.1	455	15.0	29	12.9	2,178	29.3	137	11.6	9.2	151	10.72	15
20	10.6	16.3	1,433	168	9.1	8.4	290	15.8	45	15.5	1,723	33.7	183	12.3	9.2	212	8.02	20
25	12.2	18.7	1,233	214	9.3	8.6	200	16.2	61	18.0	1,433	37.5	231	12.6	9.2	275	6.32	25
30	13.7	21.0	1,087	261	9.4	8.7	146	16.3	77	20.2	1,233	40.8	278	12.7	9.3	339	5.15	30
35	15.1	23.0	977	308	9.4	8.8	110	16.2	93	22.3	1,087	43.8	325	12.6	9.3	402	4.31	35
40	16.5	24.9	890	355	9.3	8.9	86	16.0	109	24.3	977	46.5	371	12.5	9.3	464	3.67	40
45	17.7	26.7	821	400	9.1	8.9	69	15.7	125	26.1	890	48.9	416	12.2	9.2	525	3.17	45
50	18.9	28.3	765	444	8.8	8.9	56	15.3	140	27.8	821	51.0	459	11.9	9.2	584	2.77	50
55	19.9	29.9	718	487	8.6	8.9	47	14.8	155	29.4	765	53.0	502	11.5	9.1	642	2.44	55
60	21.0	31.3	678	528	8.3	8.8	40	14.3	170	30.8	718	54.9	543	11.2	9.0	698	2.17	60
65	21.9	32.7	645	568	8.0	8.7	34	13.8	183	32.2	678	56.5	582	10.7	9.0	752	1.94	65
70	22.8	33.9	616	607	7.7	8.7	29	13.3	197	33.5	645	58.1	620	10.3	8.9	803	1.74	70
75	23.6	35.1	590	643	7.4	8.6	25	12.8	209	34.7	616	59.5	656	9.9	8.7	853	1.57	75
80	24.4	36.2	569	679	7.1	8.5	22	12.2	222	35.8	590	60.8	691	9.5	8.6	900	1.42	80
85	25.2	37.2	549	713	6.8	8.4	19	11.7	233	36.9	569	62.0	724	9.1	8.5	946	1.30	85
90	25.9	38.2	532	745	6.5	8.3	17	11.2	245	37.8	549	63.1	756	8.7	8.4	989	1.18	90
95	26.5	39.1	517	776	6.2	8.2	15	10.7	255	38.8	532	64.2	786	8.3	8.3	1,031	1.08	95
100	27.1	39.9	503	805	5.9	8.1	14	10.2	265	39.6	517	65.2	815	7.9	8.2	1,071	1.00	100

表 7-2 鹿児島県ヒノキ人工林収穫表(地位 等地)

The yield table of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantation of Kagoshima Prefecture - Site quality -

林齡 Stand age 年	主林木 Dominant trees						副林木 Thinning trees			主副林木合計 Sum total of dominant trees and thinning trees								林齡 Stand age 年
	平均 Average		ha当たり per ha				ha当たり per ha			平均 Average	ha当たり per ha							
	樹高 Tree height m	胸高直径 D.B.H. cm	本数 Stem number 本	幹材積 Stem volume m ³	幹材積連 年成長量 Current increment m ³	幹材積平 均成長量 Mean increment m ³	本数 Stem number 本	幹材積 Stem volume m ³	幹材積 累計 Volume total m ³	胸高直径 D.B.H. cm	本数 Stem number 本	胸高 断面積 Basal area m ²	幹材積 Stem volume m ³	幹材積連 年成長量 Current increment m ³	幹材積平 均成長量 Mean increment m ³	総収穫量 Total yield m ³	成長率 Rate of growth %	
10	5.7	8.9	2,755	59	-	5.9	1035	10.3	10	8.1	3,789	20.7	69	-	6.9	69	-	10
15	7.3	11.4	2,169	91	6.5	6.1	586	11.5	22	10.6	2,755	25.4	103	8.8	6.8	113	10.85	15
20	8.8	13.6	1,796	126	6.9	6.3	373	12.2	34	12.9	2,169	29.4	138	9.4	6.9	160	8.17	20
25	10.2	15.7	1,540	162	7.2	6.5	256	12.5	46	15.0	1,796	32.9	174	9.7	7.0	208	6.46	25
30	11.5	17.6	1,355	198	7.3	6.6	185	12.6	59	17.0	1,540	36.0	211	9.8	7.0	257	5.27	30
35	12.7	19.4	1,215	235	7.3	6.7	140	12.6	72	18.8	1,355	38.7	247	9.8	7.1	306	4.39	35
40	13.9	21.0	1,106	270	7.2	6.8	109	12.4	84	20.5	1,215	41.2	283	9.6	7.1	354	3.73	40
45	14.9	22.5	1,020	305	7.0	6.8	87	12.1	96	22.0	1,106	43.4	318	9.4	7.1	402	3.21	45
50	15.9	24.0	949	340	6.8	6.8	70	11.7	108	23.5	1,020	45.4	351	9.2	7.0	447	2.79	50
55	16.8	25.3	891	372	6.6	6.8	58	11.3	119	24.8	949	47.2	384	8.9	7.0	492	2.45	55
60	17.7	26.5	842	404	6.3	6.7	49	10.9	130	26.1	891	48.8	415	8.5	6.9	534	2.16	60
65	18.5	27.6	801	435	6.1	6.7	41	10.4	141	27.2	842	50.3	445	8.2	6.8	575	1.92	65
70	19.2	28.7	766	464	5.8	6.6	35	10.0	151	28.3	801	51.7	474	7.8	6.8	614	1.72	70
75	19.9	29.7	735	491	5.5	6.6	31	9.5	160	29.3	766	53.0	501	7.4	6.7	651	1.54	75
80	20.6	30.6	709	518	5.3	6.5	27	9.0	169	30.3	735	54.2	527	7.1	6.6	687	1.39	80
85	21.2	31.4	686	543	5.0	6.4	23	8.6	178	31.1	709	55.2	551	6.7	6.5	720	1.26	85
90	21.7	32.2	665	566	4.7	6.3	20	8.1	186	31.9	686	56.2	574	6.4	6.4	752	1.14	90
95	22.2	32.9	647	589	4.5	6.2	18	7.7	193	32.7	665	57.1	596	6.0	6.3	782	1.03	95
100	22.7	33.6	631	610	4.2	6.1	16	7.2	201	33.4	647	58.0	617	5.7	6.2	810	0.94	100

表 7-3 鹿児島県ヒノキ人工林収穫表(地位 等地)

The yield table of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantation of Kagoshima Prefecture - Site quality -

林齡	主林木 Dominant trees						副林木 Thinning trees			主副林木合計 Sum total of dominant trees and thinning trees								林齡
	平均 Average		ha当たり per ha				ha当たり per ha			平均 Average	ha当たり per ha							
	樹高	胸高直径	本数	幹材積	幹材積連年成長量	幹材積平均成長量	本数	幹材積	幹材積累計	胸高直径	本数	胸高断面積	幹材積	幹材積連年成長量	幹材積平均成長量	総収穫量	成長率	
Stand age	Tree height	D.B.H.	Stem number	Stem volume	Current increment	Mean increment	Stem number	Stem volume	Volume total	D.B.H.	Stem number	Basal area	Stem volume	Current increment	Mean increment	Total yield	Rate of growth	Stand age
年	m	cm	本	m ³	m ³	m ³	本	m ³	m ³	cm	本	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	%	年
10	4.5	7.0	3,673	41	-	4.1	1408	7.3	7	6.4	5,082	17.0	48	-	4.8	48	-	10
15	5.8	9.0	2,872	64	4.6	4.2	802	8.3	16	8.4	3,673	21.1	72	6.2	4.8	79	11.03	15
20	7.1	10.8	2,364	89	5.0	4.4	508	8.9	24	10.3	2,872	24.7	97	6.8	4.9	113	8.41	20
25	8.2	12.6	2,018	115	5.2	4.6	346	9.2	34	12.0	2,364	27.9	124	7.1	5.0	148	6.66	25
30	9.3	14.2	1,769	142	5.4	4.7	249	9.3	43	13.7	2,018	30.7	151	7.2	5.0	185	5.43	30
35	10.3	15.7	1,582	168	5.4	4.8	187	9.3	52	15.2	1,769	33.2	178	7.2	5.1	221	4.52	35
40	11.3	17.1	1,438	195	5.3	4.9	144	9.1	61	16.6	1,582	35.4	204	7.1	5.1	256	3.82	40
45	12.2	18.4	1,324	221	5.2	4.9	114	8.8	70	17.9	1,438	37.4	230	6.9	5.1	291	3.27	45
50	13.0	19.5	1,232	246	5.0	4.9	92	8.5	79	19.1	1,324	39.2	254	6.7	5.1	324	2.82	50
55	13.7	20.6	1,157	270	4.8	4.9	75	8.2	87	20.3	1,232	40.8	278	6.4	5.1	357	2.46	55
60	14.4	21.6	1,094	293	4.6	4.9	63	7.8	95	21.3	1,157	42.3	301	6.2	5.0	387	2.16	60
65	15.1	22.5	1,041	315	4.4	4.8	53	7.4	102	22.2	1,094	43.6	322	5.9	5.0	417	1.90	65
70	15.7	23.4	997	335	4.1	4.8	45	7.0	109	23.1	1,041	44.9	342	5.5	4.9	444	1.69	70
75	16.2	24.2	959	355	3.9	4.7	38	6.6	116	23.9	997	45.9	361	5.2	4.8	470	1.50	75
80	16.7	24.9	926	373	3.7	4.7	33	6.2	122	24.6	959	46.9	379	4.9	4.7	495	1.34	80
85	17.2	25.5	897	390	3.4	4.6	29	5.8	128	25.3	926	47.8	396	4.6	4.7	518	1.19	85
90	17.6	26.2	872	406	3.2	4.5	25	5.4	133	25.9	897	48.7	412	4.3	4.6	539	1.07	90
95	18.0	26.7	851	421	3.0	4.4	22	5.0	138	26.5	872	49.4	426	4.0	4.5	559	0.96	95
100	18.4	27.2	832	435	2.8	4.4	19	4.6	143	27.0	851	50.1	440	3.7	4.4	578	0.86	100