

(研究資料)

九州地域におけるスギ、ヒノキ人工林の
材種別収穫予測

森 田 栄 一⁽¹⁾

Eiichi MORITA : The Study on the Yield Prediction by Wood Assortment
of Sugi and Hinoki Artificial Stand in Kyushu District.
(Research note)

要 旨：これまでの林分動態に関する研究は、林分収穫表や林分密度管理図に見られるように、量的な解析が主流を占めてきたといっても過言ではあるまい。これに対して、本研究は人工林の主要樹種であるスギ・ヒノキについて、木材生産の本来のあるべき姿として量質両面からの視点に立った林分管理の方向について検討を試みたものである。

その対象には、九州地域のスギ林・ヒノキ林を選び、異なる地位・本数管理・伐期における材種別の収穫予測が可能なプログラムを作成した。その内容は、まず、地位・管理履歴の異なる実在の個別林分を例として、このプログラムに組み込んだ 1. 任意の林分の地位査定 2. 幹形の細り率の推定 3. 林況のちがいに對する直径階の範囲の推定 4. 枝下高の推定 5. 樹高曲線の推定 6. 枝下高曲線の推定等の方法及び数式の妥当性を検証した。次いで、九州地域の林分管理として望ましいと思われる施業タイプを選び、樹種別（スギ、ヒノキ）・地位級別（1・2・3等地）に伐期別（40, 50, 60年）・採材長別（6m材・4m材）の材種別収穫予測（小径材・柱材・中目材・大径材）における丸太玉数及び丸太材積を提示した。

目 次

I まえがき	134
II 研究計画	135
1. 資 料	136
2. 方 法	136
3. プログラムに用いた推定式と推定内容	136
4. 推定結果	140
III 個別林分における収穫予測と予測方法の検討	141
1. 同一地区内の異なる地位間の材種別収穫量の比較	141
2. 個々の予測方法の検討	148
3. 固定収穫試験地における材種別収穫予測の事例	152
IV 地位別・伐期別の材種別収穫予測	155

1. スギ 1 等地	156
2. スギ 2 等地	156
3. スギ 3 等地	156
4. ヒノキ 1 等地	159
5. ヒノキ 2 等地	164
6. ヒノキ 3 等地	164
V おわりに	167
引用文献	169

I ま え が き

著者は、これまで 1963 年から 1983 年にわたる「人工林間伐モデル」の研究結果を基に、林分管理・施業へのアプローチとして九州地方のスギ・ヒノキ人工林における地位級別・本数密度別の量的な成長予測¹⁻⁴⁾及び量質両面を考慮した「林況診断表の作成」⁵⁻¹³⁾等の一連の研究を進めてきた。これらの成果は、昭和 61 年度から新しくスタートした林業試験場の研究基本計画に基づく九州地域の研究課題として引き継がれた。

本報告はその中の二つの小課題

- (1) スギ単純林の収穫予測と施業基準
- (2) 材種別収穫予測と地位級別施業基準

にかかわる研究である。

その内容は、これら一連の研究を背景として、九州地域におけるスギ・ヒノキ人工林の取り扱い方（施業）の違いが、伐期に収穫される材種（丸太の径級区分）にどのような差となって表れるかについて、施業タイプ別（伐期・地位・本数密度）に一応の試案を提示しようと試みたものである。

したがって、いわゆる木材製品における「節・曲がり・木目・色・艶」さらには「入皮・あて・割れ・腐れ」等々、木材の品等にかかわるすべての材質を対象とするものではなく、林木の育成過程における立木のままでの観察、または測定可能な、いわゆる外見上の形質によるものであって、これまでの一連の研究として、

1. 林況（地位・林齢・本数密度）の違いに対する直径・樹高のバランス（D/H 比）^{5)14)~16)}
2. 林況の違いに対する幹形の細り率⁶⁾
3. 林況の違いに対する樹冠長比（CLR : Crown Length Ratio）⁸⁻¹¹⁾
4. 林況の違いに対する一番丸太の材種別収穫量¹⁷⁾
5. 林況の違いに対する年輪幅¹⁸⁾

などの検討を試みてきた。なお、これまでは最も材価の高い一番丸太のみを対象とした材種別収穫予測を試みてきたが、本報告では、二番以上の枝下上部丸太までにその範囲を拡張した¹⁹⁾。

一方、量優先に進められてきた傾向の強かったこれまでの育林・経営の研究では、部分的には質にかかわる点はあったとしても、林分単位の収穫量と結びつけた報告は少ない。近年の関連研究としては、

「地域性に立脚した林業の総合的管理方式」に関連する報告²⁰⁾ などが見られるが、まだ、部分的解析の域を出ない。

そこで、本研究に関連があると思われるこれまでの木材部門における材質関係の研究の方向を知るために、過去約 20 年間の木材学会大会・研究発表要旨集を見ると、保育形式と材質²¹⁾、枝打ちと年輪幅²²⁾、本数密度と仮導管長^{23~26)}、品種と材質²⁷⁾²⁸⁾、間伐材の材質^{29~32)} 及び肥培材の材質³³⁾ などがあり、特に、「林況診断表の作成」において重要な指標として取り上げた樹冠長比（樹冠長/樹高：木材部門では樹冠率と呼ばれている）と、年輪幅や晩材・早材との関係には木材部門の関心も高く、かなりの文献^{23)34~40)} が見られたほか、年輪幅（構造）^{21)41~47)}、晩材・早材、成熟材・未成熟材⁴⁸⁾⁴⁹⁾、節と木材強度⁵⁰⁾⁵¹⁾、細胞・容積密度³⁴⁾⁴³⁾⁵⁰⁾、心材や材色^{52~56)} さらには、これら材質の各項目についての主成分分析、重回帰分析⁵⁷⁾⁵⁸⁾ 等々、枚挙に暇のないほどの多くの研究が進められている。

また、上記の文献を樹種別に見ると、スギ 28、ヒノキ 4、その他の樹種、または複数の樹種 6 となっているが、スギの材質にかかわる研究が圧倒的に多い。このことは、スギはヒノキに比べて林分管理の違いや品種によって、その材質にかなりの差があるためと推察される。

このような現状にあって、本研究における施業面からの材種別の収穫予測は、これらの研究と十分に整合性のある結果を提示できたとは考えられないが、この研究そのものが、いまだその緒についたばかりであるので、今後の進展に期待しつつ、その内容についてのべる。

新しい研究課題の選定に当たり、本研究を採用いただいた当時の横田俊一・尾方信夫両九州支場長及び安永朝海育林部長の各位に厚くお礼を申し上げる。また、寄稿に当たり格別のご配慮を賜った熊崎実経営部長並びに脱稿の指摘を賜った西川匡英経営第 2 科長及び藤田桂治育林部長の各位にも厚くお礼を申し上げる。

また、本研究には、農林水産研究計算センターの電子計算機 ACS-6/MVX を当支場 C 端末からリモートバッチ方式により利用した。

II 研 究 計 画

本研究では、最初にのべた研究課題の目的に沿って、前述した一連の研究の流れをベースに、現実林における種々な施業（林分管理）の結果、もたらされる伐期の林況（地位・林齢・本数密度・平均直径・平均樹高、以下、直径・樹高と呼ぶ）における全立木の枝下の幹材について材種区分を試み、特に、異なる地位・施業別の材種別収穫量を推定し、よって経営目標の選択の目安に資することとした。

林分管理に当たって、特に、重要なことは経営目標は人のサイドの希望・期待であって、その選択は全く自由であるのに対し、現実林（生物のサイド）の成長状態（林況）は、その林分の立地・環境及び人為的な植栽本数をはじめ保育管理の適否にかかわらず、その結果としてもたらされる林木の成長反応であり、それらは、人の希望・期待とは全く独立な動きを示すものである。したがって、経営目標の立案に際し、また、林分の管理において、より現地に適した技術選択によって、この両者をどれだけ一致させるかの認識と努力はきわめて重要である¹²⁾¹⁷⁾⁵⁹⁾。

1. 資 料

個別林分として用いた資料には、当支場が継続調査中の固定収穫試験地の中から地位・管理履歴を考慮して後述の表 8 に示したスギ 6 林分 (7 試験区)、ヒノキ 8 林分 (9 試験区) を選んだ。さらに、地位級別・伐期別の材種別収穫予測の資料には、これまでの成長予測の研究の中からスギ・ヒノキとも、後述の表 9、表 10 に示した施業指針表の試案のうち地位上の林況を用いた⁴⁾。

2. 方 法

伐期の範囲に達した林況を情報として、図 1 に示すプログラムのフローチャートに従って材種別の収穫予測システムを組み立てたが、特に、つぎの項目を重視した。

- (1) 直径階別本数分布の推定⁷⁾
- (2) 直径階別樹高・枝下高の推定³⁾¹⁹⁾
- (3) 丸太採材における上部直径の推定¹⁷⁾¹⁹⁾

その中で、図 1 に示した入力条件には、三つのコースを想定した。すなわち、

方法 1 林況の情報として林分の最小・最大直径 (Dmin, Dmax) を取り上げ、図 2 に示すように、平均直径を境として直径の小さい側と大きい側に区分した。次いで、その直径階差に応じて、別々の t 分布曲線を当てはめ、そのそれぞれが 50% となる確率積分の比率 (%) を左右いずれも直径階差 4~14 (2 cm 括約) とし、該当する表値からそれぞれの直径階別本数分布の推定を行う方法。

方法 2 実測の直径階別本数分布が既知な場合には、方法 1 の推定値に代わって、その実測値を用いる方法。

方法 3 直径階別本数分布の推定にワイブル分布を用いる方法。ただし、このワイブル分布については、西沢ら⁶⁰⁾の発表以来これまでに多くの研究発表がある。しかし、未だ林況の変化に対するワイブル分布の三つのパラメータの推定式が提示された例がないので、この方法 3 は、今後の研究問題として、今回の研究からは除外した。

3. プログラムに用いた推定式と推定内容

(1) 地位査定式

地位の査定は、基準齢 40 年の樹高によって表示される地位指数 (S.I.: site index) に代わって、これまで慣用的に用いられてきた地位級 (site class) 区分に準じ、これを 1/10 で表示した地位指標 (SI) で表すこととした。たとえば、地位 1 等地と 2 等地の間は、地位指標 1.5 と表示する。

その方法には、西沢ら⁶¹⁾が提唱した修正指数曲線式を九州地域のスギ・ヒノキ林分収穫表に適用して、(1)、(1') 式を求めた。次いで、西沢ら⁶¹⁾では手計算または、図表から求められていた地位指数に代わって、対象林分の林齢に対する修正指数曲線のガイドカーブ樹高と、その林分の実測樹高からその林分の地位指標を算定する (2)、(2') 式を誘導した。

$$Y = K + a \cdot b^{t'} \quad t' = (t - 15) / 5$$

$$\text{スギ} \quad Hg = 30.5365 - 24.7451 \cdot 0.941649^{t'} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$SI = 3.0 - (H/Hg - 1) / 0.25 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ヒノキ} \quad Hg = 22.6444 - 18.1621 \cdot 0.921968^{t'} \quad \dots\dots\dots (1')$$

A 入力条件

〔共通データ〕 直径階別本数分布率(%) 階層別(左右とも4~14階)
 方法1 樹種 林齢 平均直径 平均樹高 本数密度 Dmin Dmax Hmin Hmax
 KU t D H N (2cm括約) (1m括約)
 方法2 方法1のデータに加えて実測の直径階別本数も入力する。
 方法3 (ワイブル分布 今回は除外)

B 推定内容

推定される内容	推定に必要な林分因子
地位指標 SI の決定	[t, H]
細り率 TP の推定	[SI, t, N' = N/1000]
平均枝下高 Hun. の算出 (1-CLR)	樹冠長比 CLR の推定 [t, H, N']
▲ 直径対樹高曲線の算出	[Dmin, D, Dmax, Hmin, H, Hmax]
▲ 直径対枝下高曲線の算出	樹冠長比の変動の推定 [t, H, N', CLR]
方法1 直径階別本数分布率の選択と計算(方法2 入力による)	

C 推定結果

▲ 表1 直径階別・玉別の本数・末口径・残材長の計算表
 ▲ 表2 直径階別・玉別の本数・丸太材積の計算表
 ▲ 表3 材種別・玉別の本数集計表
 ▲ 表4 材種別・玉別の丸太材積集計表
 注) 表1~4は、6m採材と4m採材の両方について計算

◎ 「A」に戻って、複数の林分の反復計算可能, ▲ 表のPrint

図 1. 材種別収穫予測のフローチャート

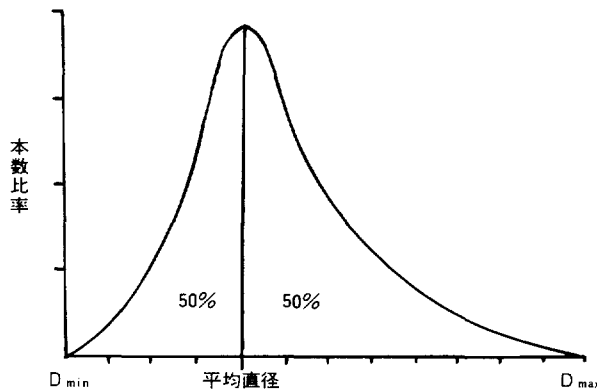


図 2. t 分布のあてはめの例

$$SI = 3.0 - (H/Hg - 1)/0.35 \quad \dots\dots\dots(2')$$

Hg: 指定された林齢のガイドカーブ樹高

H: 林分の平均樹高 SI: 地位指標 t: 林齢 (単位 1 年)

(2) 林分の細り率の推定式

林分の細り率 (TP) は、胸高直径と 4 m 高の上部直径の比率で表すこととし、既報⁶⁾に詳述した地位指標・林齢・本数密度に対する細り率の推定式を用いた。

$$\text{スギ} \quad TP = 0.8171 - 0.0518 SI + 0.0023 t + 0.0349 (N/1000) \quad \dots\dots\dots(3)$$

重相関係数 $R = 0.8488$, 標準誤差 $SE = 0.039$, 変動係数 $CV = 4.63\%$

$$\text{ヒノキ} \quad TP = 0.8429 - 0.0474 SI + 0.0022 t + 0.0064 (N/1000) \quad \dots\dots\dots(3')$$

重相関係数 $R = 0.9027$, 標準誤差 $SE = 0.013$, 変動係数 $CV = 1.48\%$

(3) 樹冠長比の推定式

本研究では、丸太の材種区分は、枝下の部分を対象に行うこととしたが、このために改めて林分因子と枝下高との関係解析を試みることなく、既報⁹⁾¹¹⁾における樹冠長比 (CLR: Crown Length Ratio = 樹冠長 CL/樹高 H) を用いることとした。

枝下高率 = 1 - 樹冠長比

$$\text{スギ} \quad CLR = 0.60962 - 0.00255t - 0.00876 H - 0.00636(N/1000) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$R = 0.7170$, $SE = 0.0195$, $CV = 3.56\%$

$$\text{ヒノキ} \quad CLR = 0.48108 - 0.00205t - 0.00594 H - 0.04227(N/1000) \quad \dots\dots\dots(4')$$

$R = 0.8515$, $SE = 0.0058$, $CV = 2.67\%$

(4) 樹冠長比の標準偏差の推定式

林分の直径階別の枝下高曲線の傾きは、樹高曲線における直径階別の樹高の変化に比べて小さく、かなり、なだらかなことは知られている。したがって、上述の樹冠長比によって枝下高率を推定しても、もし、その平均枝下高を用いれば、下位の直径階では樹高よりも枝下高が高くなる場合もあり得る。このことから既報⁹⁾¹¹⁾の資料を用いて、直径階別の枝下高曲線を求めるための林分因子による樹冠長比の標準偏差 (CLR-s) の推定式¹⁹⁾をつぎのように求めた。

$$\text{スギ} \quad CLR-s = 0.01226 + 0.00025t + 0.00001 H - 0.00785 (N/1000) + 0.14966 CLR \quad \dots\dots(5)$$

$R = 0.8245$, $SE = 0.0083$, $CV = 17.68\%$

$$\text{ヒノキ} \quad CLR-s = -0.03068 + 0.00046 t + 0.00027 H + 0.00225 (N/1000) + 0.24126 CLR \quad \dots\dots(5')$$

$R = 0.7233$, $SE = 0.0078$, $CV = 17.86\%$

この (5), (5') 式は、直径階別の枝下高曲線を求めるために、本研究において新たに加えた式である。

(5) Dmin, Dmax, Hmin, Hmax の推定式

直径階別の樹高曲線や枝下高曲線を解く方法としては、林内単木のすべてのデータによる方法、直径階別の平均値を用いる方法、たとえば、ネズルンド式などもあるが、ここでは最も簡便な既報¹⁹⁾の方法によることとし、そのために必要な林分の直径の範囲 (最小直径 Dmin, 最大直径 Dmax) と樹高

の範囲（最小樹高 Hmin, 最大樹高 Hmax）を推定する式を用いた。

$$\text{スギ} \quad [D_{\min}] = 0.30629 - 0.07159 [SI] - 0.30060 [t] + 0.97929 [D] - 0.21420 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$R = 0.9019, s = 2.136, CV = 16.82\%$$

$$[D_{\max}] = -0.49733 - 0.04860 [SI] + 0.08417 [t] + 1.37694 [D] + 0.34708 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$R = 0.9356, s = 3.938, CV = 11.63\%$$

$$[H_{\min}] = 0.26224 + 0.01999 [SI] - 0.48765 [t] + 1.32663 [H] - 0.26822 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$R = 0.9407, s = 1.539, CV = 13.64\%$$

$$H_{\max} = 0.23900 - 0.10105 SI + 0.31874 t + 0.46349 H - 0.03666 (N/1000) \quad \dots\dots(9)$$

$$R = 0.9804, s = 1.245, CV = 6.49\%$$

$$\text{ヒノキ} \quad [D_{\min}] = -1.30855 - 0.23961 [SI] + 0.20528 [t] + 1.54172 [D] + 0.33646 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(6')$$

$$R = 0.8398, s = 1.804, CV = 13.43\%$$

$$[D_{\max}] = 0.39792 - 0.09934 [SI] + 0.27180 [t] + 0.53828 [D] - 0.12525 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(7')$$

$$R = 0.9216, s = 2.8257, CV = 7.67\%$$

$$[H_{\min}] = -0.60390 - 0.66037 [SI] + 0.71179 [t] + 0.52976 [H] + 0.06435 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(8')$$

$$R = 0.7723, s = 1.734, CV = 13.29\%$$

$$[H_{\max}] = 0.14664 + 0.07746 [SI] - 0.03062 [t] + 0.97186 [H] + 0.02509 [N/1000] \quad \dots\dots\dots(9')$$

$$R = 0.9467, s = 0.9092, CV = 4.33\%$$

注) [] : $\log_{10}$ 式, D : 平均直径, H : 平均樹高, N : 本数密度 (ha)

(6) 上部直径の推定式（添字_{6,4}は丸太の材長）⁶⁾

上部直径は、前述したように、林分によって異なることを前提とし、6 m 採材・4 m 採材のそれぞれにおける上部直径の推定式を次の (10)～(12) 式とした。すなわち、図 3 に示すように、4 m 採材高を 4.2 m（伐採高 0.2 m 加算）と 6 m 採材高を 6.2 m とすれば、(3), (3') 式で推定され 4 m 高・6 m 高の細り率は、(10), (10') 式に示すように、それぞれ 0.0714 (0.2/2.8), 0.7857 (2.2/2.8) の補正が必要となる。また、さらに上部丸太については、採材玉数に応じて (11), (11') 式により、その細り率を推定することとなる。その結果、それぞれの丸太の末口直径は (12) 式によって求めることができる。

なお、本研究において幹曲線式を用いなかった理由は、実例とともに後述の III-2-(3) で詳述する。

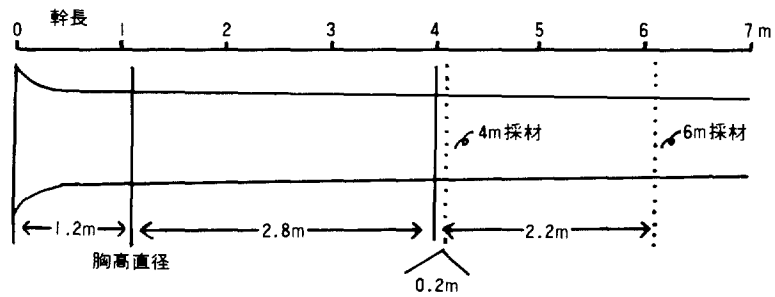


図 3. 上部直径の測定高 (4 m) と採材長の関係

一番玉 (元玉)

$$TP_6(1) = TP - (1 - TP) \times 0.7857 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$TP_4(1) = TP - (1 - TP) \times 0.0714 \quad \dots\dots\dots(10')$$

二番玉以上

$$TP_6(n) = TP - (1 - TP) \times (2.2 + 6 \times \text{玉数}) / 2.8 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$TP_4(n) = TP - (1 - TP) \times (0.2 + 4 \times \text{玉数}) / 2.8 \quad \dots\dots\dots(11')$$

$$\text{末口直径}(n) = D \times TP_i(n) \quad \dots\dots\dots(12)$$

(7) 材種区分

丸太の材種は、木材部門では皮内の末口径級で示されているが、本研究では立木のまま取り扱うことから 4 m 材、または 6 m 材の皮付末口径級によって、つぎのように区分した。

小径材：末口直径（皮付）が、16 cm 未満のもの

柱 材：末口直径（皮付）が、16～22 cm のもの

中目材：末口直径（皮付）が、22～32 cm のもの

大径材：末口直径（皮付）が、32 cm 以上のもの

なお、以下では胸高直径は直径、末口直径は末口直径と区別する。

4. 推定結果

以上の入力条件と推定式 (1)～(12) は、後述のⅢ章の個別林分における収穫予測と、予測方法の検討及びⅣ章の地位別・伐期別の材種別収穫予測においても同様の方法として用いられる。これらによって出力される推定結果の 1 例を表 1 に示す。その項目別の内容を概説すれば、つぎのとおりである。

- (1) 林分名
- (2) 用意された方法の区分
- (3) 樹種及び入力された林分因子の値
- (4) 地位判定、細り率、樹冠長比とその標準偏差及び枝下高
- (5) 樹高曲線式の計算値と直径階別の樹高推定値
- (6) 枝下高曲線式の計算値と直径階別の枝下高の推定値
- (7) 直径階別の本数分布、玉別本数、末口直径の推定値及びその残材長の一覧表

(8) 直径階別の玉別本数とその丸太材積

(9) 材種別・玉別の本数集計表

(10) 材種別・玉別の丸太材積集計表

なお、(7)～(10)は、6 m 採材と 4 m 採材の 2 種が印刷される。

III 個別林分における収穫予測と予測方法の検討

1. 同一地区内の異なる地位間の材種別収穫量の比較

霧島山麓に設定されている万膳 1 号・2 号・3 号の三つの試験地の経緯は、表 2 に示すように、その地位も過去からの本数管理の履歴も異なっているが、これらの試験地は、図 4 に示すように、ほぼ同一方位の山腹斜面に位置していることから具体的な計算例として選んだ。その材種別の収穫予測には、3 区の調査時の林齢に近い 1978～1979 年（1 号 64 年，2 号 65 年，3 号 64 年）を用いた。

まず、これら 3 試験地における方法 1 と方法 2 による材種別丸太数の予測の結果を表 3 に示す。この表から次のことがいえる。

(1) 方法 1 による直径階別本数分布の適合度

一般にスギ・ヒノキ人工林における直径分布は、高齢なほど大きなひずみを示すことが知られている。したがって、方法 1 ではその対策として、前述のとおり平均直径を境にして 2 種の t 分布をあてはめる方法を用いた。それに対して、方法 2 は実測の直径階別本数分布によるものであることから、両者の分布の一樣性を χ^2 検定によって比較し、図 5 に示した。これらのうち、実測の本数分布が梯形を呈していた万膳 2 号では有意水準 1% の差を示したが、他の 3 試験区程度の分布のずれでは有意な差は認められなかった。なお、この直径階別本数分布の推定は、径級別の玉数・材積に大きな関係をもっているため、「予測方法の検討」の項を設けて、再度詳述したい。

(2) 方法 1 と方法 2 における丸太玉数の比較

これら各区ごとの方法 1・方法 2 における丸太総数をみると、表 3 に示すように、方法間にはほとんど差はなかった。一方、試験地間の総玉数は、万膳 1 号の 2 試験区と万膳 2 号では本数密度のほぼ 2 倍（6 m 採材）、3 倍（4 m 採材）となっているのに対し、最も地位の悪い万膳 3 号では 1.3 倍（6 m 採材）、2.3 倍（4 m 採材）とかなり劣っていた。その原因には、樹高成長（地位・樹高）と本数密度の関係からその平均枝下高は、1 号（標準区）15.2 m，1 号（間伐区）14.2 m，2 号 13.3 m，3 号 12.2 m と異なり、万膳 3 号の直径 20 cm 以下では、枝下高が 12.2 m に達せず 2 番玉（6 m 採材）、3 番玉（4 m 採材）が採材できなかったためである。

さらに、材種別の内容をみると、地位が悪い上に過密な本数密度で経過した 3 号試験地では、その約 80%（元玉だけでは約 73%）が柱材に達していない⁶³⁾。このように地位の悪い林分では総収穫量においても、当然、不利な条件にあることから唯一の対策は、本数管理によって肥大成長を促進し、少なくとも元玉一本は利用径級に達しうる施業を行うことによって、量的なハンデいを質的向上によってカバーすることが重要である。近年、木材価格の低迷から間伐の収支が赤字の林分は放置し、販売有利な林分を優先的に間伐する事例も多いようであるが、成長の悪い林分を放置するのでは地位間の差はますます

表 1. 電算機の Out put の 1 例 (方法 1 のみ)

マンベツ ヒノキ NO.1 (ヒョウシキョウ)							
KUB 1	KUB=1	D ファンフ° EST	ホーシキ (T ファンフ°)				
	KUB=2	D ファンフ° EST	ホーシキ (ワイプ° ファンフ°)				
	KUB=3	D ファンフ°	シタイ ホーシキ				
シキョシヒ ヒノキ							
	T= 64	D= 22.70	H= 18.20	N= 1816	DMIN 14.00	DMAX 34.00	
					HMIN 15.00	HMAX 22.00	
チイ ヒンタイ (チイシキョウ) 2.3							
		ホソリリツ	0.888				
		イソリリツ	0.165	シグマ	0.038	19°シタ H 15.20 M	
WA	4.0336			3.7786			
SS	0.074445	0.032057		0.013833			
AA=	0.680545	BB=	0.430617				
	RIDUCTION	0.013804		R= 0.9990			
	RESIDUAL	0.000029					
D カイハツ ノ スイタイ H							
	D	H					
1	14.00	14.93					
2	16.00	15.81					
3	18.00	16.64					
4	20.00	17.41					
5	22.00	18.14					
6	24.00	18.83					
7	26.00	19.49					
8	28.00	20.12					
9	30.00	20.73					
10	32.00	21.32					
11	34.00	21.88					
WA	4.0336			3.5401			
SS	0.074445	0.016907		0.003841			
AA=	0.874664	BB=	0.227109				
	RIDUCTION	0.003840		R= 0.9999			
	RESIDUAL	0.000001					
D カイハツ ノ スイタイ HUN							
	D	H59	CLR				
1	14.00	13.64	0.086				
2	16.00	14.06	0.111				
3	18.00	14.45	0.132				
4	20.00	14.80	0.150				
5	22.00	15.12	0.166				
6	24.00	15.42	0.181				
7	26.00	15.70	0.194				
8	28.00	15.97	0.206				
9	30.00	16.22	0.217				
10	32.00	16.46	0.228				
11	34.00	16.69	0.237				

表 1. つづき

D カイハツ ノ タマハツ N スクチ D L ヒョウ (6M)												
D	N	H	N%	H%	N	スクチ D	タマハツ	N	スクチ D	タマハツ	N	ノリ
14	15	14.9	0.8	13.6	15.0	11.2	7.6	15.0	6.3	1.6	0.	2.7
16	51	15.8	2.8	14.1	51.0	12.8	8.1	51.0	7.2	2.1	0.	3.6
18	143	16.6	7.9	14.4	143.0	14.4	8.4	143.0	8.1	2.4	0.	4.4
20	289	17.4	15.9	14.8	289.0	16.0	8.8	289.0	9.0	2.8	0.	5.2
22	410	18.1	22.6	15.1	410.0	17.6	9.1	410.0	9.9	3.1	0.	5.9
24	347	18.8	19.1	15.4	347.0	19.2	9.4	347.0	10.8	3.4	0.	6.6
26	272	19.5	15.0	15.7	272.0	20.8	9.7	272.0	11.7	3.7	0.	7.3
28	167	20.1	9.2	16.0	167.0	22.4	10.0	167.0	12.6	4.0	0.	7.9
30	80	20.7	4.4	16.2	80.0	24.0	10.2	80.0	13.5	4.2	0.	8.5
32	31	21.3	1.7	16.5	31.0	25.6	10.5	31.0	14.4	4.5	0.	9.1
34	11	21.9	0.6	16.7	11.0	27.2	10.7	11.0	15.3	4.7	0.	9.7

1816

(三・四番玉は
ゼロにつき省略)

D カイハツ ノ タマハツ マタ V									
D	N	カンサイキ	N	マタ V	N	マタ V	N	マタ V	N
14	15	1.800	15.0	0.888	15.0	0.279	0.	0.	0.
16	51	8.364	51.0	3.942	51.0	1.240	0.	0.	0.
18	143	31.031	143.0	13.988	143.0	4.401	0.	0.	0.
20	289	80.342	289.0	34.901	289.0	10.982	0.	0.	0.
22	410	143.090	410.0	59.912	410.0	18.851	0.	0.	0.
24	347	147.128	347.0	60.344	347.0	18.987	0.	0.	0.
26	272	138.176	272.0	55.514	272.0	17.467	0.	0.	0.
28	167	100.200	167.0	39.529	167.0	12.438	0.	0.	0.
30	80	56.000	80.0	21.738	80.0	6.840	0.	0.	0.
32	31	25.110	31.0	9.584	31.0	3.016	0.	0.	0.
34	11	10.208	11.0	3.839	11.0	1.208	0.	0.	0.
1816	741.449		304.180		95.710		0.		

サハシユハツ タマハツ シュウタイヒョウ

サハシユ クフツ 1 ハンタマ 2 ハンタマ 3 ハンタマ 4 ハンタマ TOTAL %

マタ ノ タマヌ

ショウタイサイ	209	1816	0	0	2025	55.75
ハシラ サイ	1318	0	0	0	1318	36.29
タカメ サイ	289	0	0	0	289	7.96
タイタイサイ	0	0	0	0	0	0.
TOTAL	1816	1816	0	0	3632	100.00

マタ サイキ

ショウタイサイ	18.818	95.710	0.	0.	114.527	28.64
ハシラ サイ	210.672	0.	0.	0.	210.672	52.68
タカメ サイ	74.690	0.	0.	0.	74.690	18.68
タイタイサイ	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTAL	304.180	95.710	0.	0.	399.889	100.00

D カイハツ ノ タマハツ N スクチ D L ヒョウ (4M) (繰り返しにつき、省略)

す拡大することが予想される。

表 2. 万膳 1 号・2 号・3 号試験地の本数管理の履歴

試験地	1 号				2 号		3 号	
地位指標	2.3 等地				2.7 等地		3.0 等地	
面積 ha	旧 1.00				0.251		0.251	
1973 変更	0.163 標準区		0.103 比較区					
	林 齢	本 数	林 齢	本 数	林 齢	本 数	林 齢	本 数
1973 間伐 (%) 残存	38	2146			38	1668	38	2588
	43	2101			43	1656	43	2564
	49	2042			49	1652	49	2532
	54	1956			54	1637	54	2474
	59	1883	59	1932	(60)	1637		
				N 21.6				
間伐 (%) 残存	64	1816	64	1515	(65)	1629	64	2382
	69	1816	69	1515	(70)	1629	69	2382
		N 21.7		N 28.8		N 25.2		N 33.3
	69	1202	69	1078	(70)	1219	69	1558

備考 1973 年度から以降の調査における変更

- 1) 1 号試験地は、面積縮小・2 区に変更
- 2) 2 号試験地は、調査年度を 1 年延期
- 3) 3 号試験地は、10 年間隔の調査とし、1973 年の調査を中止したが、その後、林齢 64 年度の間伐により再び 5 年間隔に戻した。

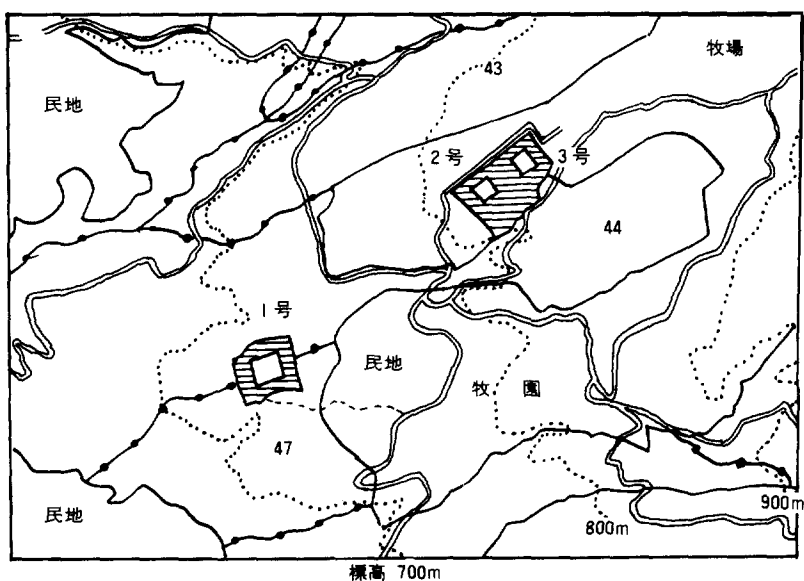


図 4. 万膳 1 号・2 号・3 号試験地の配置図

表 3. 材種別丸太本数の比較

		方 法 1							方 法 2						
		6 m 採材			4 m 採材				6 m 採材			4 m 採材			
	材種区分	一番玉	二番玉	計	一番玉	二番玉	三番玉	計	一番玉	二番玉	計	一番玉	二番玉	三番玉	計
万膳 1 号 (標準区) 林 齢 64 年 地位指標 2.3 等地 D = 22.7cm H = 18.2m N = 1816本/ha	小径材	209	1816	2025	209	1255	1816	3280	330	1816	2146	331	1286	1816	3433
	柱 材	1318	0	1318	1046	561	0	1607	1207	0	1207	955	530	0	1485
	中目材	289	0	289	561	0	0	561	279	0	279	530	0	0	530
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	1816	1816	3632	1816	1816	1816	5448	1816	1816	3632	1816	1816	1816	5448
万膳 1 号 (間伐区) 林 齢 64 年 地位指標 2.4 等地 D = 22.8cm H = 17.4m N = 1515本/ha	小径材	343	1515	1858	101	1274	1515	2890	476	1515	1991	175	1321	1515	3011
	柱 材	1070	0	1070	946	241	0	1187	971	0	971	991	194	0	1185
	中目材	102	0	102	468	0	0	468	68	0	68	349	0	0	349
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	1515	1515	3030	1515	1515	1515	4545	1515	1515	3030	1515	1515	1515	4545
万膳 2 号 林 齢 65 年 地位指標 2.7 等地 D = 22.2cm H = 16.3m N = 1628本/ha	小径材	504	1620	2124	260	1440	1620	3320	625	1625	2250	255	1496	1625	3376
	柱 材	1065	0	1065	921	188	0	1109	963	0	963	1062	132	0	1194
	中目材	59	0	59	447	0	0	447	40	0	40	311	0	0	311
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	1628	1620	3248	1628	1628	1620	4876	1628	1625	3253	1628	1628	1625	4881
万膳 3 号 林 齢 64 年 地位指標 3.0 等地 D = 19.1cm H = 14.6m N = 2381本/ha	小径材	1728	653	2381	1190	2381	653	4234	1743	638	2381	1189	2381	638	4208
	柱 材	653	0	653	1105	0	0	1105	638	0	638	1112	0	0	1112
	中目材	0	0	0	86	0	0	86	0	0	0	80	0	0	80
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	2381	653	3034	2381	2381	653	5415	2381	638	3019	2381	2381	638	5400

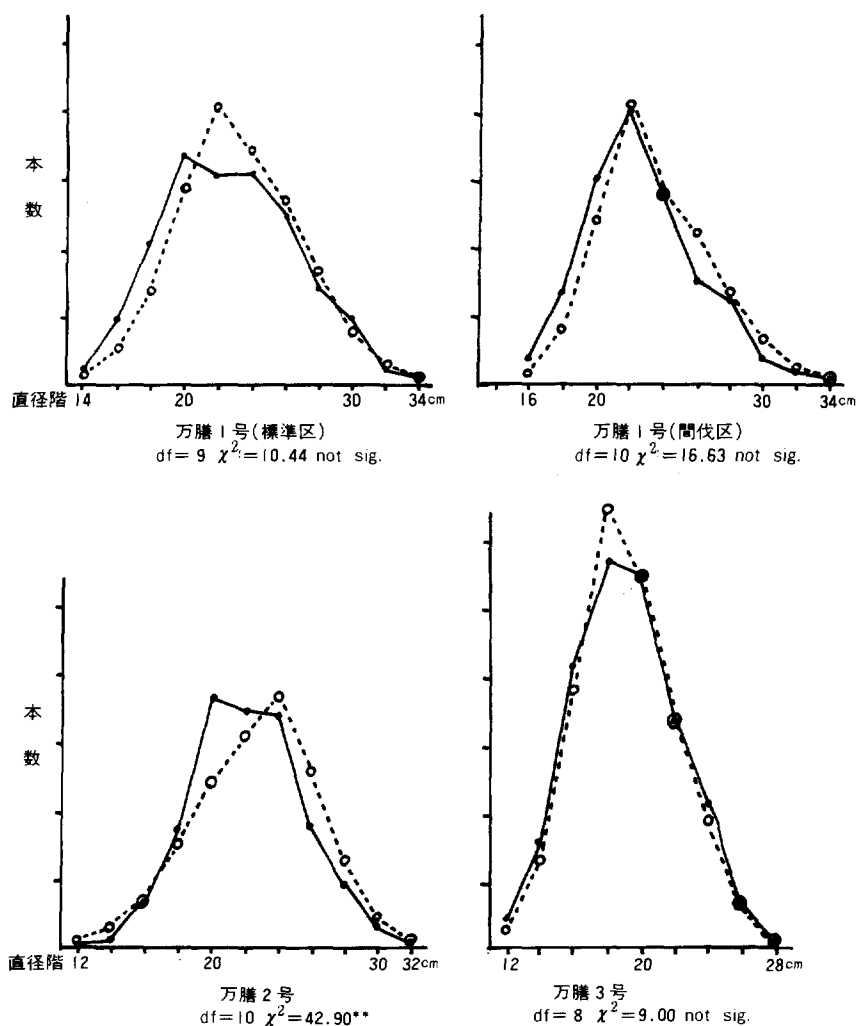


図 5. t 分布による推定本数密度(点線)と実測本数分布(実線)の比較

(3) 方法1と方法2における丸太材積の比較

次いで、丸太材積についてみると、表4に示したように、4試験区とも6m採材よりも4m採材の丸太材積が幾分多いが、総蓄積量 V に対する利用率は、いずれもほぼ50%台であり、方法1と方法2の差はほとんどない。しかし、丸太の玉数でものべたように、直径20cm以下の枝下高が12mに達しない万膳3号では6m採材での端尺の量が増加し、4m採材よりも著しく少ない丸太材積となる傾向を示している。このことに関して、これまでの国有林における伐期の決定は、地位に関係なく樹種・施業区一律に定められていることから、少なくとも地位の上下によって伐期を区別すべきであると提言⁴⁾してきた。さらに、集約な伐期を定めるためには、その林分の地位・管理履歴から採材と材価の関係を考慮して、少なくとも枝下高が4mまたは6mの倍数に達する時期を確かめて、伐期を決定す

表 4. 材種別丸太材積の比較

		方 法 1							方 法 2						
		6 m 採材			4 m 採材				6 m 採材			4 m 採材			
	材種区分	一番玉	二番玉	計	一番玉	二番玉	三番玉	計	一番玉	二番玉	計	一番玉	二番玉	三番玉	計
万膳 1 号(標準区) 林 齢 64 年 地位指標 2.3 等地 D = 22.7 cm H = 18.2 m N = 1816 本/ha V = 741.4 m ³	小径材	18.8	95.7	114.5	15.2	72.8	40.1	128.1	29.4	92.3	121.7	23.7	71.0	38.6	133.3
	柱 材	210.7	0	210.7	125.1	54.5	0	179.6	191.5	0	191.5	113.0	51.8	0	164.8
	中目材	74.7	0	74.7	105.0	0	0	105.0	72.3	0	72.3	99.8	0	0	99.8
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	304.2	95.7	399.9 (53.9%)	245.3	127.3	40.1	412.7 (55.7%)	293.2	92.3	385.5 (52.0%)	236.5	122.8	38.6	397.9 (53.7%)
万膳 1 号(間伐区) 林 齢 64 年 地位指標 2.4 等地 D = 22.8 cm H = 17.4 m N = 1515 本/ha V = 585.6 m ³	小径材	37.1	67.9	105.0	7.5	75.0	27.1	109.6	50.5	63.9	114.4	12.9	73.8	25.5	112.2
	柱 材	182.1	0	182.1	110.3	23.8	0	134.1	163.0	0	163.0	114.2	19.1	0	133.3
	中目材	28.2	0	28.2	85.6	0	0	85.6	19.1	0	19.1	64.2	0	0	64.2
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	247.4	67.9	315.3 (53.8%)	203.4	98.8	27.1	329.3 (56.2%)	232.6	63.9	296.5 (50.6%)	191.3	92.9	25.5	309.7 (52.9%)
万膳 2 号 林 齢 65 年 地位指標 2.7 等地 D = 22.2 cm H = 16.3 m N = 1628 本/ha V = 565.1 m ³	小径材	47.7	57.4	105.1	17.2	75.2	21.9	114.3	62.3	54.6	116.9	17.7	75.5	20.8	114.0
	柱 材	177.4	0	177.4	107.1	16.5	0	123.6	155.6	0	155.6	119.8	11.6	0	131.4
	中目材	15.2	0	15.2	77.0	0	0	77.0	10.3	0	10.3	53.6	0	0	53.6
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	240.3	57.4	297.7 (52.7%)	201.3	91.7	21.9	314.9 (55.7%)	228.2	54.6	282.8 (50.0%)	191.1	87.1	20.8	299.0 (52.9%)
万膳 3 号 林 齢 64 年 地位指標 3.0 等地 D = 19.1 cm H = 14.6 m N = 2381 本/ha V = 521.3 m ³	小径材	145.3	18.1	163.4	76.4	85.1	6.5	168.0	144.7	17.8	162.5	74.4	84.3	6.4	165.1
	柱 材	92.5	0	92.5	114.5	0	0	114.5	90.8	0	90.8	115.6	0	0	115.6
	中目材	0	0	0	13.6	0	0	13.6	0	0	0	12.5	0	0	12.5
	大径材	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	237.8	18.1	255.9 (49.1%)	204.5	85.1	6.5	296.1 (56.8%)	235.5	17.8	253.3 (48.6%)	202.5	84.3	6.4	293.2 (56.2%)

ることが有利と考えられる。幸い、国有林での伐期指定は、5 年ごとの施業計画編成時に行なわれることから一期間 5 年の前期に伐るか、後期に伐るかの選択は可能であろう。ちなみに、年平均樹高成長量を 50 cm と見るならば、期間中には 2.5 m の違いがある。なお、表 4 における総蓄積量に対する丸太利用率とは、材種別に区分された枝下の 6 m 材、または 4 m 材のみの材積（スマリアン式）であるため一般の利用率よりもかなり小さくなっている。

2. 個々の予測方法の検討

(1) 方法 1 による直径階別本数分布の適合度の確かめ

前節Ⅲ-1 でのべた方法 1 と方法 2 の一様性に対する χ^2 検定と同様、今回の全資料について確かめてみると、つぎのとおりであった。

	有意差なし	5% 有意	1% 有意	計
スギ林	3	0	4	7
ヒノキ林	6	0	3	9

このように、ヒノキ林では、かなり適合しているのに対して、スギ林では、適合の悪い林分が多かった。その原因について個別にみると、地位が著しく悪く、林齢 35 年まで間伐できなかった小石原試験地（試験地名は、後述の表 8 による）では、直径分布のとがりが著しく、逆に高齢な 3 林分では間伐の繰り返しの結果、直径分布のとがりが低く、特に、萱瀬山試験地では直径階の幅 16~52 cm の中 28~38 cm の範囲の本数がほぼ等しいほど平滑であった。このような資料の制約もあるが、直径分布は平均値を境として、下位直径階・上位直径階に区分しても直径分布のとがりが 3 に近くなければ、t 分布をあてはめた方法 1 との χ^2 検定は当然有意となることは明らかである。また、間伐は直径分布の形を基準に行うものとは限らず、その林分の立木配置や大小関係を考慮しながら、残存木のそれぞれに対してより良い生育空間を与えるように実施すべきものであることから、適合の悪い（分布型が異なる）林分については、別な対策を講じる必要がある。とはいいながら、本来、現実林分の直径階別本数分布は、たとえ同一地位・同一本数であっても過去の管理履歴の違いによって、それぞれ異なって当然であり、さらに、間伐木の選定方法によってはその後の分布も大きく左右される。したがって、すべての個別林分に適合する直径分布の一般式は存在せず、一応の妥協点を定めて標準的な指標として利用するしか方法はない。それ故に、すでに研究計画でものべたように、方法 3 のワイブル分布による方法もその対策の一つに当たるが、今回の報告は中間報告であるためこの事実の記録に止どめ、今後の問題点として留保した。

(2) 直径階別枝下高曲線の適合度

すでに前章Ⅱ-3-(3)及び(4)でものべたように、このプログラムにおいては、(4, 4'), (5, 5') 式を用いて、その林分の樹冠長比 (CLR) 及びその標準偏差 (CLR-s) を推定した後、枝下高曲線は平均直径階の枝下高 (H 下) と、これに $\pm 2s$ の幅をつけた最小直径階の枝下高 (H 下 min = H 下 - 2s), 及び最大直径階の枝下高 (H 下 max = H 下 + 2s) から求め、その解によってそれぞれの直径階別枝下高を推定することとした。そこで、果たしてこの方式が妥当かどうかについて資料の中の一つである支場実験林内のヒノキ林 (Plot 1, 2) において、単木ごとに実測した枝下高から求めた直径階

別の平均枝下高と比較した。その結果、表5に示すように、この林分では $\pm 2s$ と仮定した枝下高曲線よりも実測枝下高の変化の方が小さかったため、小さな直径階では過小に、大きな直径階では過大な推定枝下高になっている。しかし、この林分の平均枝下高 16.4 m から見れば、1 m の推定誤差率は 6.1 % となり、ほとんどの直径階はその範囲内にある。また、推定誤差率が 10% を越えたのは、かなり大きな直径の $D=36$, $D=46$ cm の 2 か所であり、ともに優勢木のためかなり樹冠長が長い単木と見られるが、本数の少ない直径階であるために ha 当たり本数における累積差の平均は、わずかに 0.33 m であり、ほぼ良好な推定結果と考えられる。他方、仮に同一の枝下高を用いた場合は、前報¹³⁾でものべたように、たとえば、斜面の上部と下部によってはかなりの樹高差をもつ林分などでは、下位直径においては平均枝下高が樹高よりも高くなる恐れがあるので、本研究では $\pm 2s$ の幅をつけることとした。

(3) 丸太採材における上部直径の推定精度

前章Ⅱ-2-(7)に示したように、材種別の区分は、丸太の末口径級（皮付）によって行うこととしたが、一般的な上部直径の推定には幹曲線が用いられている。この幹曲線の研究は長く、梶原（京都府立大）をはじめとして多くの報告があり（文献省略）、これらの研究を見ると、対象林分ごとに実査の上、その都度、幹曲線を求める方式がとられているようである。このように、樹種・地位・林齢及び本数密度の違いに対するそれぞれの幹曲線を任意に推定する方法は示された例はないようである。それ故に、

表5. 直径階別枝下高の実測値と推定値との比較

直径階 (cm)	本 数 (ha)	実測枝下高 (m)	推定枝下高 (m)	差 m (%)
16	20	15.84	15.42	-0.42(-2.65)
18	52	16.43	15.74	-0.69(-4.20)
20	81	16.36	16.03	-0.33(-2.02)
22	116	16.44	16.30	-0.14(-0.85)
24	133	16.69	16.55	-0.14(-0.84)
26	119	16.36	16.78	0.42(2.57)
28	107	16.32	16.99	0.67(4.11)
30	61	16.24	17.20	0.96(5.91)
32	52	16.40	17.39	0.99(6.04)
34	37	16.38	17.58	1.20(7.33)
36	35	15.60	17.75	2.15(13.78)
38	9	16.33	17.92	1.59(9.74)
40	6	17.34	18.08	0.74(4.27)
42	0			
44	0			
46	3	15.96	18.52	2.56(16.04)
計	831			

ΣH 下 (実測) 13611.20 (平均 16.4 m)

ΣH 下 (推定) 13882.52

差 271.32

平均 0.33 m

本研究においては、はじめからこの幹曲線の問題を避けて、最も材価の高い一番丸太（元玉）だけを対象としてスタートしたため、すでに前章Ⅱ-3-(6)でのべたように、胸高直径と 4 m の上部直径との比率によってその末口直径を推定することとした（10, 10' 式）⁶⁾¹⁹⁾。しかし、今回は推定の範囲を拡張して、枝下幹材のすべてを対象としたので、2 番丸太以上の末口直径に対する比率による推定の妥当性を確かめておく必要が生じた。そこで、つぎの 2 種の調査を行った。

1) 伐倒木による実測上部直径と推定上部直径との比較

胸高直径と 4 m の上部直径との比率による推定で求められる丸太の推定上部直径と、実測上部直径との差を比較するために、当支場実験林内のヒノキ林（林齢 62 年生）において、隣接木との相対関係から判定した優勢木・準優勢木及び劣勢木の各 2 本を伐倒し、胸高位置（1.2 m）から 1 m きざみに梢頭までの上部直径を直径巻尺により実測し、1.2 m と 4 m の比（TP）により算出した推定上部直径との差の検定を行った。

その結果、図 6 に示すように、優勢木の No. 1, No. 2 と準優勢木 No. 3 においては、両者の差は認められなかったが、残りの準優勢木 No. 4 と劣勢木の No. 5, No. 6 においては、5% の有意差が認められた。これら有意差が認められた 3 本の図を見ると、実測の上部直径は比例的に延長した直線よりも枝下高前後の部分がかかなり完満であることがわかるが、それでも標本木 No. 1 程度のふくらみでは有意差は認められていない。また、一般に丸太の売買は、末口直径 2 cm 括約で表示されていることから両者の差が 2 cm を越えた枝下の上部直径の位置を見てみると、図 6 に▲印で示したように、標本木 No. 4 の 4 か所と標本木 No. 1, No. 6 の各 1 か所のみであった。したがって、本研究では、地位・林齢及び管理履歴の異なるすべての林分に対応させるため、実測を条件とする幹曲線方式は採用せず、個々の林分の地位・林齢・本数密度による細り率 TP〔Ⅱ-3-(2) の (3), (3') 式〕を用いて上部直径を推定する方法を選んだ。この場合、上部丸太の径級が過大推定される確率はきわめて稀となる。

2) 林分単木の直径の大小と細り率（TP）との関係

一方、この図 6 に示した 6 本の標本木の細り率（TP）を比較してみると、優勢木の No. 2 が最も大きく、次いで No. 1, 4, 6, 5, 3 の順であり、比率による推定の適合度は、細り率の大小に関係があるかのように見え、かつまた、優勢木の細り率が大きいようにも見られた。

そこで、直径の大小と細り率の大小との関係を確かめるために、デンドロメーターを用いて、上述のヒノキ林（Plot 1, 2）の全木について、2 本の下層木を除く 285 本の 4 m 高の上部直径を測定した。

その結果、表 6 に示すように、各直径階別の平均細り率は、全立木の平均細り率 0.890 とほとんど差はなく、上位・下位の直径階における偏りは認められなかった。また、単木的にみると約 80% の立木は、細り率 0.95～0.85 の範囲にあり、0.80 以下はわずかに 1 本であった。しかも、その変動係数 7.19% は、直径の変動係数 5.37% とさほど変わらず、林内単木の細り率の変動は予想外に小さかった。しかし、たまたま 1 林分の調査結果に過ぎないとの反論もあることから、これまでに調査した林分⁹⁾と比較してみると、表 7 に示すように、標本木による調査の変動係数は、一部の林分（著しく地位の悪い林分や雪害によって疎開した林分：矢部・熊本・菊池スギ林）を除いて、全立木を調査した今回の結果よりもかなり小さい。このことは、標本木の分散は、全分散を between と within に分割したこととする

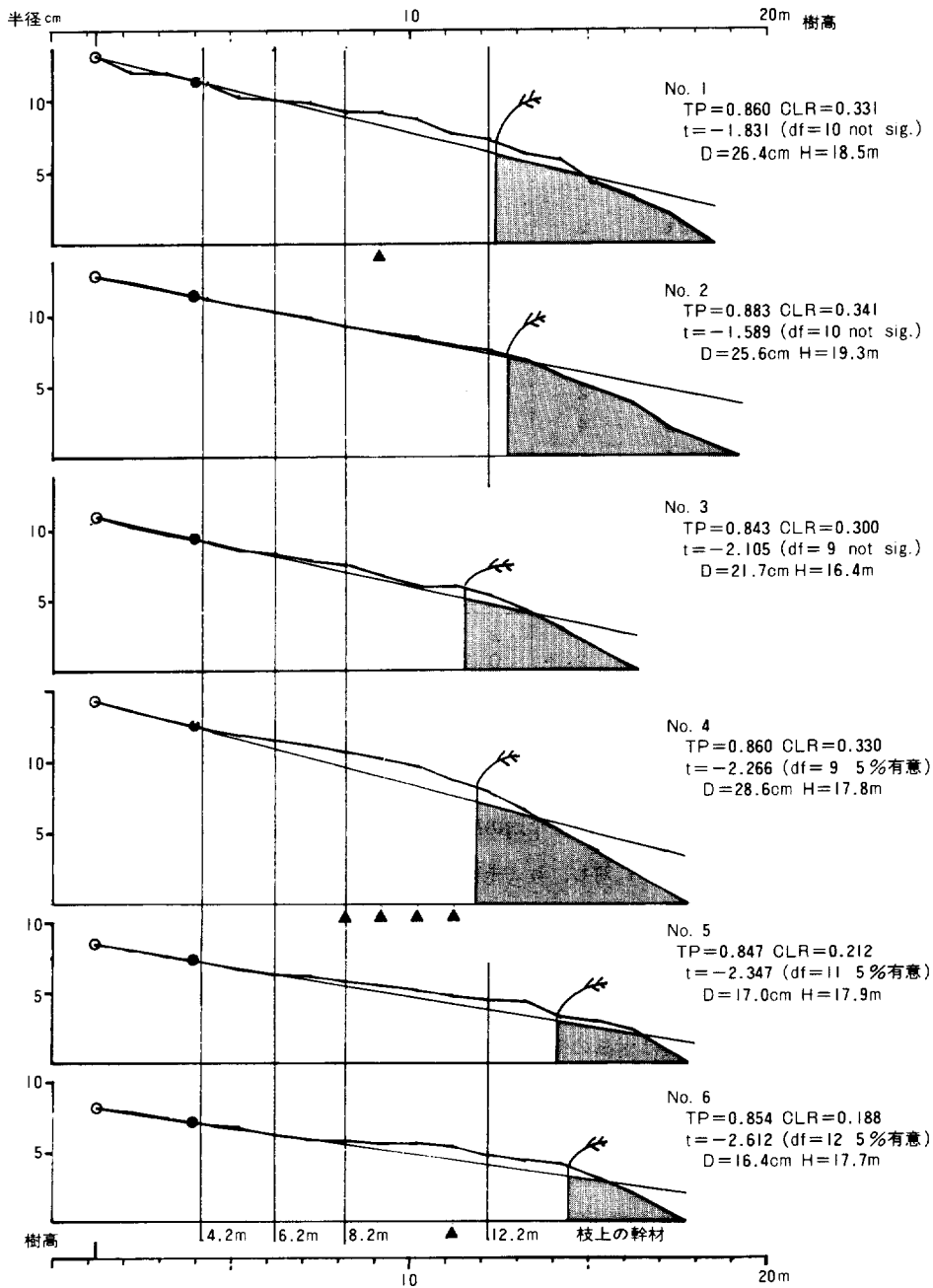


図 6. 実測上部直径と推定上部直径の比較
 (▲: 両者の差が 2 cm を越えた位置)

表 6. 林内単木の直径階別の細り率の変動

直径階 (cm)	細り率の階級別本数						平均 細り率	変 係 動 数 (%)	樹 高 (m)	枝下高 (m)
	~0.95	~0.90	~0.85	~0.80	~0.75	計				
16		1	5	1		7	0.879	4.18	18.9	15.8
18	1	8	7	2		18	0.898	4.36	20.0	16.4
20	2	8	13	6		29	0.887	4.24	20.1	16.4
22	2	19	17	2		40	0.903	3.45	20.5	16.4
24	3	14	21	5	1	44	0.893	4.93	21.1	16.7
26	5	16	17	3		41	0.900	4.05	21.5	16.4
28	1	16	16	3		36	0.897	3.47	21.6	16.3
30	2	3	11	4		20	0.888	4.10	22.1	16.2
32	1	5	8	3		17	0.895	4.17	22.4	16.4
34		5	7	2		14	0.887	3.52	22.8	16.3
36		3	5	4		12	0.872	4.05	22.5	15.6
38			4			4	0.867		23.6	16.5
40		1	1			2	0.887		23.3	17.3
42						0				
44						0				
46			1			1	0.900		25.5	16.0
計	17	99	133	35	1	285	0.890	7.19	21.2	16.3
%	6.0	34.7	46.7	12.3	0.3					

林齢 62 年の林況 本数密度 826 本 / ha 平均直径 26.3 cm 変動係数 5.37 %
樹冠長比 (CLR) 0.230 枝下率 (枝下高/樹高) 0.770

統計学の理論から当然のことである。また、平均の細り率 (TP) の最小値 (0.7 以下) を見てみると、スギ林では 4 林分 (29%) であるのに対し、ヒノキ林ではわずか 1 林分 (6%) であった。

したがって、細り率 (TP) を用いて上部直径を推定する方法は、すでに、地位・林齢・本数密度の違いに対する細り率の推定 [(3), (3')] 式が可能なことから、その簡便さを利点として活用可能なものと考えられる。なお、表 6 の末尾には直径階別の樹高と枝下高を示しているが、これまでの知見のとおり、直径階別の枝下高の変動は樹高の変動よりもはるかに小さく、この林分の平均枝下高は樹高の 77% であった。

3. 固定収穫試験地における材種別収穫予測の事例

以上の結果から今回資料としたスギ 6 林分・ヒノキ 8 林分を用いて、現実林の林況 (地位・林齢・本数密度) の違いによる材種別収穫予測の変化についてしらべた。

(1) スギ林

当支所が現有するスギ収穫試験地は 11 林分であるが、その内 9 林分は新設の試験地であるため、若い調査林齢の林分を除く 6 林分 (7 プロット) について予測した。

その結果、表 8 に示すように、丸太玉数では、前述したように方法 1 と方法 2 との差はほとんど見られないが、地位の悪い小石原や林齢の若い菊池水源の例では枝下 1 玉と丸太玉数が少ないのに対して、

表7. 過去に調査した林分における細り率（TP）

樹種	署 名	年	林齢	地位 指標	D	H	N	細り率 TP			CV	n	調査法
								平均	min.	max.			
スギ	人 吉	1978	53	1.9	24.3	18.9	1300	0.905	0.816	0.957	4.0	17	B
	“	“	28	1.3	19.3	13.7	1800	0.891	0.843	0.971	3.7	19	B
	長 崎	1979	26	2.1	17.2	10.7	2067	0.851	0.808	0.924	4.2	20	B
	矢 部	“	32	2.8	19.1	11.0	1780	0.861	0.786	0.933	5.3	20	B
	“	“	31	3.3	18.1	9.4	1523	0.770	0.598	0.966	15.1	18	B
	熊 本	“	45	4.7	16.5	7.6	1310	0.671	0.500	0.901	19.2	20	B
	高千穂	“	35	0.5	25.5	21.8	1930	0.892	0.863	0.945	2.3	20	B
	玖 珠	“	27	1.8	19.7	12.0	1409	0.761	0.653	0.833	6.3	19	B
	“	“	30	2.0	16.8	12.4	1820	0.890	0.753	0.958	5.5	20	B
	佐 賀	“	64	1.9	31.6	21.5	917	0.894	0.818	0.950	3.1	20	B
	日 田	“	30	3.5	12.6	8.6	2920	0.793	0.692	0.884	5.4	20	B
	菊 池	“	65	0.3	38.1	28.8	617	0.726	0.632	0.906	11.0	20	B
	“	“	30	0.6	19.6	16.0	1429	0.896	0.842	0.965	3.5	20	B
	水 俣	1972	60	2.0	31.1	20.0	810	0.886	0.856	0.908	2.2	10	A
ヒノキ	人 吉	1978	62	0.9	31.1	24.6	1000	0.941	0.900	0.974	2.4	16	B
	“	“	25	1.0	15.3	12.3	1800	0.880	0.824	0.943	3.9	18	B
	熊 本	“	48	1.6	21.5	17.7	1585	0.895	0.863	0.945	2.4	16	B
	“	“	48	1.6	21.7	18.1	1672	0.876	0.820	0.938	3.9	20	B
	“	“	48	1.5	24.4	18.3	1174	0.891	0.843	0.940	3.1	19	B
	“	“	48	1.4	20.7	18.9	1608	0.890	0.824	0.946	3.4	39	B
	長 崎	1979	27	1.2	18.7	12.4	1615	0.845	0.773	0.924	4.9	18	B
	支 場	1977	54	1.6	22.9	18.3	975	0.895	0.867	0.949	3.0	20	B
	“	“	54	1.8	24.4	17.1	672	0.873	0.843	0.931	3.4	20	B
	“	“	54	1.6	23.1	18.1	825	0.889	0.844	0.943	4.2	20	B
	大 口	1979	23	1.3	13.4	10.6	2075	0.840	0.685	0.937	6.7	20	B
	熊 本	“	54	3.1	16.8	12.4	2000	0.882	0.714	0.954	6.9	20	B
	宮 崎	1967	55	2.4	25.8	14.2	1086	0.838	0.786	0.873	4.5	6	A
	加治木	1968	54	2.3	20.2	15.5	1956	0.860	0.825	0.902	3.3	7	A
	高 崎	1967	50	2.2	21.8	15.5	1323	0.826	0.796	0.873	4.5	10	A
	西 都	1964	60	2.1	24.3	18.0	1193	0.869	0.845	0.878	1.4	7	A

注) A: 樹幹解析木 B: デンドロメータ n: 標本数

表 8. 固定収穫試験地における材種別収穫予測の事例

樹 種	No.	試験地名	林齢	SI	本 数 ha (枝下高m)	疎密度	材長	玉数 ha		丸太材積 m ³		玉数
								方法 1	方法 2	方法 1	方法 2	
ス ギ	1	水 無 平	40	-0.3	1928 (15.49)	密	6	3787	3807	1061	991	2
							4	5715	5736	1058	987	3
	2	小 石 原	40	3.5	2200 (7.42)	密	6	2120	2190	149	137	1
							4	2200	2200	139	126	1
	3	菊池水源	36	0.8	1423 (11.32)	中	6	1423	1423	257	224	1
							4	2846	2846	318	276	2
	4	菊池深葉 (主Plot)	61	0.5	617 (20.62)	中	6	1851	1851	610	609	3
							4	2468	2468	565	564	4
	5	" " (副Plot)	61	1.3	784 (17.50)	中	6	1568	1568	405	385	2
							4	3136	3136	424	405	4
	6	萱 瀬 山	62	1.6	815 (16.71)	中	6	1630	1630	426	412	2
							4	3239	3204	443	431	4
	7	背 振 山	59	1.8	934 (15.12)	中	6	1858	1868	340	357	2
							4	2792	2802	349	367	3
ヒノキ	1	仁川 2 号	53	1.4	1608 (16.51)	密	6	3224	3227	351	345	3
							4	4824	4824	355	349	4
	2	越 差	63	2.2	1148 (14.74)	密	6	2298	2290	296	287	2
							4	3444	3444	306	298	3
	3	本 城	69	2.1	862 (16.31)	中	6	1724	1724	398	401	2
							4	2586	2586	404	407	3
	4	久間横山	48	1.3	909 (14.85)	中	6	1818	1818	283	299	2
							4	2727	2727	289	307	3
	5	万膳 1 号 (標準区)	64	2.3	1816 (15.20)	密	6	3632	3632	400	385	2
							4	5448	5448	413	399	3
	6	" " (間伐区)	64	2.4	1515 (14.22)	密	6	3030	3030	315	296	2
							4	4545	4545	329	310	3
	7	万膳 2 号	65	2.7	1630 (13.32)	密	6	3250	3255	297	287	2
							4	4880	4885	315	299	3
	8	万膳 3 号	64	3.0	2382 (12.23)	密	6	3035	3020	255	254	2
							4	5417	5402	296	293	3
	9	立 田 山 (支場内)	64	1.8	831 (17.26)	中	6	1686	1671	291	274	3
							4	3294	3252	302	285	4

SI : 地位指標 (地位の 1/10 表示)

著しく成長の良い水無平や高齢な3林分（菊池深葉・萱瀬山・背振山）では、枝下高も高く、4 m 材を4玉収穫可能な場合も表れている。特に、菊池深葉（主）では、6 m 材・3玉の収穫が見込まれている。一方、丸太材積では、菊池深葉（主）・背振山を除いて幾分方法1の方が多い。しかも、その収穫量は、丸太玉数（地位・本数密度）によって大きく左右され、著しく成長のよい水無平では、林齢40年であるにもかかわらず1000 m³を越えている。また、全体的な傾向としては、地位が良好なほど、高齢なほど、その収穫量は大きい。6 m 採材と4 m 採材の間では枝下高の違い（端尺）が影響している。特に、最も地位の悪い小石原では林齢40年で150 m³にも達せず、同齢の水無平の約1/7しかない。この林分の第一回間伐は林齢30年時に予定されていたが、当時は枝下高も低く、しかも自然枯死木もなかったことから林齢35年まで延期して間伐を実施した林分である。

(2) ヒノキ林

当支所が現有するヒノキ収穫試験地は16林分であるが、そのうち新設の若い2林分を除き、いずれも高齢な林分が多い。しかし、これらの中には地位・本数密度の似通った林分もあったため、その中から7林分を選び、当支所内の実験林を加えた8林分（9プロット）について予測した。これらの林分は、表8に示すように、スギ林に比べて本数密度の高い林分が多い。

まず、丸太玉数をみると、高齢な林分が多いために、いずれも6 m 材は2～3玉、4 m 材は3～4玉の採材が可能で、総丸太玉数は本数密度の大小に影響される度合いが高い。しかし、最も地位の悪い万膳3号では、柱材以上の丸太玉数が著しく少なかったことは、既にⅢ-1で述べたとおりである。一方、丸太材積では、万膳3号を除いて6 m 採材と4 m 採材の差はほとんど見られなかった。その量の大小は、スギ林ほど大きくなく、300～400 m³と割合揃っていた。この場合、枝下高の違い（端尺）の影響も見逃せない。たとえば、林齢53年の仁川2号は、枝下高16.5 mであるために、3～4玉の採材が可能で350 m³に近いが、ほぼ同一の本数密度である林齢65年の万膳2号では、枝下高が13.3 mしかないで300 m³程度となっている。しかし、このことは単に本数密度を密にして枝下高を高め、採材玉数を増加させることを提唱しているのではない。むしろ、地位・林齢に見合った健全な林分を育成する中で、その林分に適した本数密度において収穫可能な丸太本数・丸太材積の目安を知ることが肝要である。

IV 地位別・伐期別の材種別収穫予測

前Ⅲ章の個別林分の解析結果においては、本研究の現段階における材種別の丸太玉数・丸太材積量の予測がどの程度の精度かについてのべた。しかし、収穫予測の目的は、はじめにのべたように、従来の量優先から量質両面への転換への試みであり、しかも、本研究では、ある限られた範囲の特定の林分を対象とするものではなく、九州地方におけるスギ・ヒノキ人工林のすべてを対象とするプログラムとして作成した。すなわち、量的な将来予測には既成のプログラム³⁾によって対応し、質的な将来予測には今回のプログラムが活用できる。しかし、すべての林分について予測の結果を例示すれば、その数は膨大なものとなり無駄も多いので、これらには個々に対応するしかない。また、それほど膨大な事例を示さなくとも、基本的な標準的事例を示せば、他は十分類推できるはずである。そこで、ここでは先に望

ましい施業として提示した林況⁴⁾について、方法1により、スギ・ヒノキ林とも、地位上の上限と下限及び地位下の下限（上限は地位上の下限と同じ）の3種について、伐期40、50、60年における計9種の材種別収穫予測を示し、考察する。なお、上記の施業⁴⁾では、地利の良し悪しにより、それぞれ2種の林況を求めたが、ここでは、表9、10に示した地利（上）における林況を用いた。今、この表値について、地位上の上限を1等地、下限を2等地、地位下の下限を3等地と仮定し、両樹種のそれぞれの伐期における林況を図1に従って入力すればよい。また、表11にはその林況のほか、前章II-3の諸式により推定した直径・樹高の範囲(6)~(9)式、細り率TP(3)式、樹冠長比CLRとその標準偏差CLR-s(4)、(5)式及び枝下高を示す。次いで、地位・伐期の異なるこれらの林況における材種別収穫予測の結果を比較するに当たり、同じ伐期における地位間の比較も可能ではあるが、表12~17に示すように、樹種別・地位別に作表したので、それぞれの樹種・地位における伐期間の違いを主に考察する。

1. スギ・1等地（表12）

予想された丸太の玉数は、6m採材では40年・50年は2玉、60年は一部3玉であるのに対し、4m採材では40年・50年は3玉、60年は4玉となった。これは、表11に示したように、伐期60年の枝下高が高く16m(4×4)を越えたためである。また、柱材以上の玉数及びその割合は、表12のとおりであるが、好適な伐期の選択には材種別の市況の変動は除外しても、玉数と丸太材積の両面から見た、6m採材と4m採材を比較して判断しなければならない。この観点から伐期別の丸太材積及び全幹材積に対する歩どまりも加えて比較してみると、スギ1等地では丸太材積の実収穫量は、伐期が長くなるほど当然多くなるが、伐期50年の歩どまりは61%と、伐期40年の63%、伐期60年の69%よりも少ない。しかし、伐期40年の歩どまり63%の中には、小径材が14%(4m材)、または、24%(6m材)が含まれており他の伐期に劣る。一方、伐期60年では伐期40年の丸太材積の1.5倍に達し、他よりも著しく大径材の割合が高くなっている。また、柱材以上の材積割合は6m採材では94%、4m採材では92%と最も大きい。

2. スギ・2等地（表13）

スギ1等地と同様の観点に立って、スギ2等地における伐期間の違いを比較してみると、伐期40年の6m採材では予想される丸太の玉数も材積も最も不利と見られ、4m採材では2番玉も収穫できるもののその約半分は小径材となる。しかし、丸太材積は6m採材よりも約30m³上回っている。一方、伐期50年と60年との間では、伐期60年の4m採材において、小径材の割合がわずかに減少するものの、比率として見ればあまり差はなく、また、60年伐期・4m採材では柱材を占める本数は2番玉に集中している。さらに、収穫量は伐期50年では伐期40年の1.2倍(4m採材)~1.3倍(6m採材)であるのに対し、伐期60年では伐期40年の1.7倍(4m採材)~2.0倍(6m採材)と、スギ1等地よりも較差が大きい。したがって、スギ2等地の伐期選択は、目標とする材種によって伐期50・60年のいずれも可能と推察される。

3. スギ・3等地（表14）

以上のスギ1等地・2等地に比べて、スギ3等地では、表11に示した枝下高からも明らかなように、

表 9. 施業指針表の試案（スギ Aa・Ba）

	林齡	直径 D (cm)			樹高 H (m)			本数 N (Ry)			蓄積 V (m³)		
		A	B		A	B		A	B		A	B	
齡階別の林況表 (間伐年は残存木の林況)	15	12.0	10.7	9.4	8.6	7.2	5.8	2700			150.0	101.8	64.5
	20	14.7	13.3	11.6	11.3	9.3	7.3	1876	2010	2690	199.9	147.8	118.4
								(0.75	0.69	0.67)			
	25	18.0	16.6	14.4	12.9	10.8	9.0	1876	2010	1870	331.7	254.9	153.4
								(0.81	0.75	0.66)			
	30	21.4	20.1	17.7	15.7	13.0	9.9	1210	1300	1870	360.0	287.1	244.7
								(0.76	0.71	0.70)			
	35	24.0	22.7	21.1	16.7	13.9	10.6	1210	1300	1310	472.8	381.6	277.9
								(0.79	0.73	0.66)			
	40	26.8	25.8	23.3	19.0	15.8	12.3	900	980	1310	489.7	409.3	352.9
							(0.75	0.70	0.68)				
45	28.8	27.6	26.5	20.1	16.7	13.7	900	980	980	590.0	489.7	375.3	
							(0.78	0.72	0.65)				
50	30.8	29.9	28.0	22.0	18.4	14.4	710	780	980	579.6	499.9	433.5	
							(0.75	0.70	0.67)				
55	32.5	31.4	29.2	23.0	19.2	15.3	710	780	980	657.7	567.5	499.7	
							(0.77	0.72	0.69)				
60	33.5	32.4	30.2	24.4	20.3	16.2	694	770	980	715.2	628.9	564.5	
							(0.78	0.74	0.71)				
間伐の目安	1	A	{	20	30	800	46.1	18.7					
	20			25	670	27.7	15.8						
	25			30	800	33.0	17.7						
	2	A	{	30	35	650	93.6	20.6					
	30			35	700	68.4	19.2						
	35			30	560	51.4	15.6						
	3	A	{	40	25	300	93.4	16.0					
	40			25	330	69.0	14.4						
	45			25	330	56.1	13.0						
	4	A	{	50	20	180	96.6	14.3					
	50			20	190	72.5	12.7						
		B	{	無間伐									

注) A: 地位 上 B: 地位 下 a: 地利 上

表 10. 施業指針表の試案 (ヒノキ Aa・Ba)

	林齡	直径 D (cm)			樹高 H (m)			本数 N (Ry)			蓄積 V (m³)		
		A	B		A	B		A	B		A	B	
齡階別の林況表 (間伐年は残存木の林況)	15	10.8	9.9	8.9	7.7	6.1	4.5	3150			130.3	90.3	58.0
	20	12.7	11.6	10.3	10.4	8.2	5.9	2150~2320~3110 (0.73 0.61 0.53)			156.2	110.5	93.8
	25	15.6	14.3	11.5	12.2	9.7	7.2	2150 2320 3060 (0.84 0.71 0.62)			268.6	196.0	125.5
	30	18.2	16.8	13.2	14.7	11.7	8.7	1460 1590 2100 (0.81 0.69 0.61)			299.1	221.6	136.8
	35	20.5	19.3	15.9	16.1	12.8	9.5	1460 1590 2100 (0.89 0.75 0.66)			412.0	316.7	212.5
	40	23.7	22.4	18.3	18.4	14.6	10.8	990 1100 1460 (0.82 0.70 0.62)			422.3	331.7	220.6
	45	25.3	24.2	20.5	19.4	15.4	11.4	990 1100 1460 (0.86 0.74 0.65)			498.3	401.8	292.0
	50	28.1	27.2	23.5	21.4	17.0	12.7	750 820 1020 (0.81 0.69 0.59)			506.0	412.5	287.3
	55	29.1	28.5	25.2	22.3	17.7	13.1	750 820 1020 (0.84 0.72 0.61)			564.3	465.3	334.6
	60	30.3	29.8	26.5	23.6	18.7	13.8	690 810 1020 (0.85 0.75 0.64)			587.6	527.1	387.3
間伐の目安	回	地 位		林 齢	N (%)		本 数		材 積 (m³)		V (%)		
	1	A	{	20	30		920		38.8		19.9		
				20	25		770		23.1		17.3		
				30	30		900		35.1		20.4		
	2	A	{	30	30		630		64.2		17.7		
				30	30		680		50.3		18.5		
				40	30		630		50.6		18.7		
	3	A	{	40	30		420		82.4		16.3		
				40	30		470		69.1		17.2		
				50	30		440		62.0		17.8		
	4	A	{	50	20		190		54.9		9.8		
				50	25		270		65.6		13.7		
				無間伐									

表 11. 材種別収穫予想に用いた樹種別・地位別・伐期別の林況と推定された TP, CLR, CLR-s 及び枝下高

樹 種	地位	伐期	Input Data					推 定 値			
			D (cm)	H (m)	N (ha)	Dmin- max(cm)	Hmin- max(m)	TP	CLR	CLR-s	枝下高 (m)
ス ギ	1	40	26.8	19.0	900	18 ~ 38	15 ~ 22	0.900	0.335	0.066	12.63
		50	30.8	22.0	710	20 ~ 44	18 ~ 26	0.913	0.285	0.062	15.73
		60	33.5	24.4	690	20 ~ 50	19 ~ 28	0.930	0.238	0.058	18.58
	2	40	25.8	15.8	980	16 ~ 36	12 ~ 18	0.849	0.363	0.069	10.06
		50	29.9	18.4	780	18 ~ 42	14 ~ 22	0.863	0.316	0.066	12.59
		60	32.4	20.3	770	18 ~ 48	14 ~ 24	0.880	0.274	0.062	14.74
	3	40	23.3	12.3	1310	12 ~ 34	8 ~ 16	0.801	0.392	0.071	7.48
		50	28.0	14.4	980	14 ~ 40	10 ~ 19	0.812	0.350	0.070	9.36
		60	30.2	16.2	980	16 ~ 46	10 ~ 21	0.835	0.308	0.066	11.20
ヒ ノ キ	1	40	23.7	18.4	990	14 ~ 38	14 ~ 20	0.896	0.248	0.045	13.84
		50	28.1	21.4	750	18 ~ 46	17 ~ 24	0.951	0.220	0.041	16.70
		60	30.3	23.6	690	20 ~ 50	19 ~ 27	0.932	0.189	0.038	19.15
	2	40	22.4	14.6	1100	12 ~ 34	9 ~ 18	0.848	0.266	0.050	10.72
		50	27.2	17.0	820	14 ~ 42	11 ~ 20	0.867	0.243	0.048	12.87
		60	29.8	18.7	810	16 ~ 46	13 ~ 22	0.885	0.213	0.045	14.72
	3	40	18.3	10.8	1460	8 ~ 28	6 ~ 14	0.801	0.273	0.054	7.85
		50	23.5	12.7	1020	12 ~ 36	7 ~ 16	0.821	0.260	0.054	9.40
		60	26.5	13.8	1020	14 ~ 40	9 ~ 17	0.838	0.233	0.052	10.58

6 m 採材における 2 番玉は伐期 60 年においてさえもわずか 1% 程度に過ぎず、4 m 採材においても 2 番玉が収穫できるのは伐期 50 年以上である。しかも、早い伐期ほど小径材の割合が大きく、伐期 40 年の 6 m 採材では実に約 70% に及ぶ。さらに、丸太材積をみると、伐期 60 年・4 m 採材は、他の 5 種の丸太材積よりもはるかに大きく、しかも小径材の玉数は 2 番玉に集中し、その丸太材積は約 14% に止どまっていることからスギ 3 等地では伐期 60 年・4 m 採材が最も有利と推察される。

さらに、その材質の一つである年輪幅¹⁸⁾を表 9 の林齢 30・40・50 年の林況から推察してみると、それぞれ

1 等地	2.3 mm	2.1 mm	1.9 mm
2 等地	2.2	2.1	1.8
3 等地	2.2	1.9	1.6

となり、いずれの地位においても高齢化に伴ってその年輪幅は漸減の傾向にあると予想され、ほぼ妥当な値を示した。

4. ヒノキ・1 等地（表 15）

ヒノキ 1 等地における予測の結果をみると、丸太玉数はスギ 1 等地と同様、伐期 60 年だけが 6 m 採材で 3 番玉まで、4 m 採材では 4 番玉まで収穫可能と推定された。これは、表 11 に示した樹種別・伐

表 12. 地位級別・伐期別の材種別予想収獲量（スギ林一等地）

伐 期			40 年					50 年					60 年					
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%
丸	6 m 材	小 径 材	7	840		847	47.1		219		219	15.4		30	141		172	11.1
		柱 材	443	60		503	27.9	112	419		571	40.2	30	304	33		367	23.6
		中 目 材	450			450	25.0	526	32		558	39.3	485	356			841	54.1
		大 径 材						72			72	5.1	175				175	11.2
太 数	4 m 材	計	900	900		1800		710	710		1420		690	690	175		1555	
		小 径 材		103	900	1003	37.2		16	571	587	27.6		3	135	683	821	29.8
		柱 材	246	737		983	36.4	47	339	139	525	24.6	11	132	446	7	596	21.6
		中 目 材	634	60		694	25.7	524	355		879	41.3	423	492	109		1024	37.1
丸 太 材 積	4 m 材	大 径 材	20			20	0.7	139			139	6.5	256	63			319	11.5
		計	900	900	900	2700		710	710	710	2130		690	690	690	690	2760	
		小 径 材	1	71		72	24.2		22		22	6.4		3	14		17	3.7
		柱 材	84	9		93	31.3	23	73		96	28.1	6	73	4		83	18.2
丸 太 材 積	4 m 材	中 目 材	132			132	44.5	178	8		186	54.4	177	75			252	55.1
		大 径 材				0	0.0	38			38	11.1	105				105	23.0
		計	217	80		297	(62.1)	239	103		342	(60.2)	288	151	18		457	(68.0)
		全幹材積	478					568					672					
丸 太 材 積	4 m 材	小 径 材		7	36	43	14.2		1	35	36	10.5			9	29	38	8.2
		柱 材	32	79		111	36.6	7	42	14	63	18.3	1	17	49	1	68	14.6
		中 目 材	132	10		142	46.9	126	69		195	56.5	107	106	19		232	49.8
		大 径 材	7			7	2.3	51			51	14.8	106	22			128	27.4
丸 太 材 積	4 m 材	計	171	96	36	303	(63.4)	184	112	49	345	(60.7)	214	145	77	30	466	(69.4)
		全幹材積	478					568					672					

表 13. 地位級別・伐期別の材種別予想収穫量（スギ林二等地）

伐 期			40 年					50 年					60 年					
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%
丸	6 m 材	小 径 材	112			112	11.4	18	539		557	42.2	9	670			679	44.1
		柱 材	802			802	81.8	372			372	28.2	91	100			191	12.4
		中 目 材	66			66	6.8	390			390	29.6	619				619	40.2
		大 径 材				0	0.0				0	0.0	51				51	3.3
		計	980			980		780	539		1319		770	770			1540	
太 数	4 m 材	小 径 材	35	914		949	48.4	5	390	539	934	44.5	3	100	770		873	37.8
		柱 材	642	66		708	36.1	119	377		496	23.6	48	496			544	23.6
		中 目 材	303			303	15.5	621	13		634	30.2	543	174			717	31.0
		大 径 材				0	0.0	35			35	1.7	176				176	7.6
		計	980	980		1960		780	780	539	2099		770	770	770		2310	
丸	6 m 材	小 径 材	10			10	6.3	2	31		33	15.3	1	56			57	17.8
		柱 材	132			132	82.5	68			68	31.7	16	14			30	9.4
		中 目 材	18			18	11.2	114			114	53.0	205				205	64.0
		大 径 材				0	0.0				0	0.0	28				28	8.8
		計	160			160	(43.3)	184	31		215	(47.1)	250	70			320	(52.6)
太 材 積		全幹材積				369					457						608	
	4 m 材	小 径 材	2	48		50	25.8		26	12	38	16.1		7	28		35	10.5
		柱 材	79	6		85	43.8	15	40		55	23.3	6	61			67	20.1
		中 目 材	59			59	30.4	129	2		131	55.5	131	33			164	49.3
		大 径 材				0	0.0	12			12	5.1	67				67	20.1
	計	140	54		194	(52.6)	156	68	12	236	(51.6)	204	101	28		333	(54.8)	
		全幹材積				369					457						608	

表 14. 地位級別・伐期別の材種別予想収穫量（スギ林三等地）

伐 期			40 年					50 年					60 年						
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%	
丸 太 数	6 m 材	小 徑 材	905			905	69.1	223			223	22.8	66	12			78	7.9	
		柱 材	405			405	30.8	601			601	61.3	424				424	42.7	
		中 目 材				0	0.0	156			156	15.9	486				486	49.0	
		大 徑 材				0	0.0				0	0.0	4				4	0.4	
		計	1310			1310		980			980		980	12			992		
	4 m 材	小 徑 材	405			405	30.9	66	953			1019	52.1	12	633	12		657	33.3
		柱 材	696			696	53.1	281	23			304	15.5	211	343			554	28.1
		中 目 材	209			209	16.0	633				633	32.4	691	4			695	35.2
		大 徑 材				0	0.0				0	0.0	66				66	3.4	
		計	1310			1310		980	976			1956		980	980	12		1972	
丸 太 材 積	6 m 材	小 徑 材	79			79	56.4	22			22	13.0	7	1			8	3.5	
		柱 材	61			61	43.6	107			107	63.3	76				76	33.3	
		中 目 材				0	0.0	40			40	23.7	142				142	62.3	
		大 徑 材				0	0.0				0	0.0	2				2	0.9	
		計	140			140	(41.1)	169			169	(36.8)	227	1			228	(39.8)	
		全幹材積	341					459					573						
	4 m 材	小 徑 材	27			27	19.4	5	44			49	23.3	1	37			38	13.7
		柱 材	77			77	55.4	34	2			36	17.1	26	34			60	21.6
		中 目 材	35			35	25.2	125				125	59.6	155	1			156	56.1
		大 徑 材				0	0.0				0	0.0	24				24	8.6	
		計	139			139	(40.8)	164	46			210	(45.8)	206	72			278	(48.5)
		全幹材積	341					459					573						

表 15. 地位級別・伐期別の材種別予想収穫量 (ヒノキ林一等地)

伐 期			40 年					50 年					60 年					
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%
丸 太 数	6 m 材	小 径 材	114	958		1072	54.1	5	376		381	25.3		46	556		602	30.8
		柱 材	651	32		683	34.5	115	337		452	30.2	46	456	24		526	26.8
		中 目 材	225			225	11.4	560	37		597	39.8	518	186			704	35.9
		大 径 材				0	0.0	70			70	4.7	126	2			128	6.5
		計	990	990		1980		750	750		1500		690	690	580		1960	
	4 m 材	小 径 材	114	639	990	1743	58.7		51	560	611	27.1		4	213	678	895	32.4
		柱 材	525	319		844	28.4	120	420	190	730	32.5	16	209	399	12	636	23.1
		中 目 材	347	32		379	12.8	510	276		786	34.9	486	432	78		996	36.1
		大 径 材	4			4	0.1	120	3		123	5.5	188	45			233	8.4
		計	990	990	990	2970		750	750	750	2250		690	690	690	690	2760	
丸 太 材 積	6 m 材	小 径 材	11	59		70	28.7	1	37		38	11.3		5	40		45	10.0
		柱 材	106	4		110	45.1	21	55		76	22.6	9	80	3		92	20.6
		中 目 材	64			64	26.2	174	10		184	54.8	179	55			234	52.2
		大 径 材				0	0.0	38			38	11.3	76	1			77	17.2
		計	181	63		244	(60.3)	234	102		336	(61.7)	264	141	43		448	(70.7)
		全幹材積	405					545					634					
	4 m 材	小 径 材	8	39	28	75	30.1		4	30	34	10.1			15	28	43	9.9
		柱 材	63	34		97	39.0	16	51	18	85	25.2	2	27	43	1	73	17.1
		中 目 材	71	5		76	30.5	116	55		171	50.7	116	91	14		221	51.2
		大 径 材	1			1	0.4	46	1		47	14.0	78	16			94	21.8
	計	143	78	28	249	(61.7)	178	111	48	337	(61.8)	196	134	72	29	431	(68.0)	
	全幹材積	405					545					634						

期別の枝下高からも分かる。一方、丸太材積は、スギ 1 等地に比べて直径成長が劣るので、全般的に幾分少ないが、特に、伐期 40 年はかなり少ない。しかし、伐期 40 年の丸太材積に対しては、伐期 50 年で 1.4 倍、伐期 60 年で 1.7~1.8 倍と、スギ 1 等地よりも増加率が高い。

以上のことから、4 m 材の約 25% が柱材の規格に達する伐期 50 年から 60 年が収穫の適期と思われるが、全幹材積に対する歩どまりは、前者は約 62% であるのに対し、後者は 68~70% と高い。

5. ヒノキ・2 等地 (表 16)

次いで、ヒノキ 2 等地の丸太玉数では、1 等地に比べて一番玉だけしか収穫できない伐期 40 年の 6 m 採材を除いて、小径材の割合がかなり多くなっている。また、その丸太材積は、伐期 50 年でも、200 m³ 程度であり、望ましい伐期は 280~300 m³ の 60 年と思われる。

6. ヒノキ・3 等地 (表 17)

最後にヒノキ 3 等地は、表 11 に示したように、伐期 60 年であってもその樹高は 13.8 m、推定枝下高は 10.6 m しかなく、1 等地よりも著しく劣る。したがって、6 m 採材では一番玉は期待できない。また、本例は地利 (上) であるため、表 10 に示したように、間伐は 30 年で本数間伐率 31%、残存本数 2100 本/ha、以下 40 年で本数間伐率 30% (1460 本/ha)、50 年で本数間伐率 30% (1020 本/ha) と、かなりの間伐量を見込んでいるが、それでもなお、伐期 60 年の 6 m 採材を除いて、小径材の割合はかなり高い。しかし、一番玉に関して見れば、伐期 60 年の 4 m 採材では、前Ⅲ-1 で例示した万膳 3 号試験地と異なり、そのほとんどが柱材以上となっている。このことから地力の悪さを伐期の長さで本数管理によって補った例と見ることができる。

また、スギと同様、表 10 の林齢 30・40・50 年における林況について、それぞれの年輪幅を推定してみると、

1 等地	1.6 mm	1.9 mm	1.7 mm
2 等地	1.6	1.7	1.6
3 等地	1.6	1.4	1.4

となり、1 等地・2 等地における林齢 30 年前後の年輪幅は、本数密度の関係からその後の年輪幅よりも僅かに狭い値を示しているものの、スギと異なりほぼ均一な年輪幅が期待できよう。

以上、表 12~17 に示した地位級別・伐期別の材種別予想収穫量について、樹種別・地位級別に概説したが、これらの表では、6 m 採材と 4 m 採材別にその丸太玉数と丸太材積を予想していることから、12 種の内容を比較しなければならず、何を目標として、どの伐期を選ぶかは経営者の選択に委ねられるところである。また、別な比較の方法としては、それぞれの材種・番玉別の単価を予想して総収入額で比較することも考えられる。いずれにせよ、材種別収穫量は両樹種とも共通的に次のように要約できよう。

(1) 地位の違いによる樹高差 (枝下高差) は、収穫量を左右する決定的な要因である。しかし、その改善は容易なことではなく、一般的には、その立地条件の中でより良い施業を選ぶべきである。

(2) 本数管理、すなわち、本数密度の違いは、枝下高の高低にも作用し、丸太玉数の絶対量を左右する重要な要因である。

表 16. 地位級別・伐期別の材種別予想収穫量（ヒノキ林二等地）

伐 期			40 年					50 年					60 年						
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%	
丸 太 数	6 m 材	小 径 材	340			340	30.9	82	410		492	40.0	36	731			767	47.4	
		柱 材	734			734	66.7	448			448	36.4	235	75			310	19.2	
		中 目 材	26			26	2.4	287			287	23.3	520				520	32.2	
		大 径 材				0	0.0	3			3	0.3	19				19	1.2	
		計	1100			1100		820	410		1230		810	806			1616		
	4 m 材	小 径 材	175	1067		1242	56.6	36	410	410	856	41.7	13	158	806		977	40.3	
		柱 材	750	26		776	35.4	238	400		638	31.1	145	523			668	27.5	
		中 目 材	175			175	8.0	520	10		530	25.9	577	129			706	29.1	
		大 径 材				0	0.0	26			26	1.3	75				75	3.1	
		計	1100	1093		2193		820	820	410	2050		810	810	806		2426		
丸 太 材 積	6 m 材	小 径 材	29			29	19.3	8	25		33	16.8	4	54			58	20.6	
		柱 材	114			114	76.0	79			79	40.1	42	11			53	18.8	
		中 目 材	7			7	4.7	84			84	42.6	160				160	56.7	
		大 径 材				0	0.0	1			1	0.5	11				11	3.9	
		計	150			150	(44.3)	172	25		197	(50.1)	217	65			282	(56.6)	
		全幹材積	339					393					498						
	4 m 材	小 径 材	11	48		59	32.4	2	23	10	35	15.9	1	10	27		38	13.0	
		柱 材	88	2		90	49.5	28	40		68	30.9	18	56			74	25.3	
		中 目 材	33			33	18.1	106	2		108	49.1	128	23			151	51.7	
		大 径 材				0	0.0	9			9	4.1	29				29	10.0	
	計	132	50		182	(53.7)	145	65	10	220	(56.0)	176	89	27		292	(58.6)		
	全幹材積	339					393					498							

表 17. 地位級別・伐期別の材種別予想収穫量（ヒノキ林三等地）

伐 期			40 年					50 年					60 年					
玉			一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	計	%	一番	二番	三番	四番	計	%
丸 太 数	6 m 材	小 径 材	1373			1373	96.3	510			510	50.0	199				199	19.5
		柱 材	53			53	3.7	494			494	48.4	622				622	61.0
		中 目 材				0	0.0	16			16	1.6	199				199	19.5
		大 径 材				0	0.0				0	0.0					0	0.0
		計	1426			1426		1020			1020		1020				1020	
4 m 材	小 径 材	1060	400		1460	78.5	162	700			862	50.0	45	913			958	47.1
	柱 材	388			388	20.9	659	5			664	38.5	465	102			567	27.9
	中 目 材	12			12	0.6	199			199	11.5	505				505	24.8	
	大 径 材				0	0.0				0	0.0	5				5	0.2	
	計	1460	400		1860		1020	705			1725		1020	1015			2035	
丸 太 材 積	6 m 材	小 径 材	97			97	93.3	44			44	35.5	20				20	10.9
		柱 材	7			7	6.7	76			76	61.3	109				109	59.6
		中 目 材				0	0.0	4			4	3.2	54				54	29.5
		大 径 材				0	0.0				0	0.0					0	0.0
		計	104			104	(44.1)	124			124	(46.1)	183				183	(46.1)
	全幹材積	236					269					397						
4 m 材	小 径 材	62	11		73	63.5	10	29			39	26.5	3	49			52	23.2
	柱 材	40			40	34.8	72				72	49.0	57	10			67	29.9
	中 目 材	2			2	1.7	36				36	24.5	103				103	46.0
	大 径 材				0	0.0					0	0.0	2				2	0.9
	計	104	11		115	(48.7)	118	29			147	(54.7)	165	59			224	(56.4)
	全幹材積	236					269					397						

(3) さらに、本数管理は直径生長にも大きく関与するため、材種区分にもかかわる要因である。

このように、地位の差は収穫量を大きく左右することから、すでに森林調査簿をコンピュータにファイルしている国有林や県有林にあっては、樹種別・林種別に地位（または、地位指数）別・齢階別の林分面積集計表を作成して、年次の経緯に対する地位別（少なくとも上下）の収穫面積を知り、経営判断の資料とすることは急務の課題であろう。また、集約な施業としての枝打ちを除けば、本数管理（何時・どれだけ間伐するか）こそが、林分管理上の重要な経営選択であって、その良否は材種別収穫に大きくかかわってくる。さらに、従来の国有林（九州地域）の標準伐期は、スギ55～60年であったと記憶しているが、今回の材種別収穫予測においても大部分はこの伐期が有利と推察された。しかし、一方では反論として、もし金利5%の10年では1.63倍、20年では2.65倍（林業利率3.5%にみても10年では1.43倍、20年では1.99倍）であることから、表12～17では丸太材積の増加率がこの値に達していないという指摘もあろう。しかし、今回の研究に当たってしらべた木材の材質研究にかかわる報告を見ても、適正に管理された林分における心材率・年輪幅、さらには材の成熟度などの効果を考慮すれば、単に材積比だけでなく、材価の向上によって十分に延長した期間を補えるものと考えられる。さらに、今日のように林業就労者の減少による労働力の不足も考慮すれば、伐期40年で2ha伐採するよりも伐期60年で1ha伐採する方が森林の保続性も高い。したがって、経営の対象となる林分の地位を知り、本数管理の計画を立てれば、これらの表から材種別収穫量の目安を選ぶことができ、経営目標の修正・決定が可能となる。

V お わ り に

九州地方のスギ・ヒノキ人工林は、温暖多雨な好環境に属し、かなり良い成長が期待される地域と理解されている反面、概括的には粗放な並材生産地域との評価も受けてきた。しかし、仮に集約な林業によって銘柄材を生産するといっても、それは幹材の一部にしか過ぎず、残りはすべて並材であろう。また、九州が並材生産地と概括されても、これまでのべてきたように、その材種別の内容は様々であった。このように、本研究では従来の量優先の施業指針の範囲を拡張し、川上の木材生産現場から川下の木材利用・製品化への流れに着目した量質両面に配慮した施業指針へのアプローチとして、立木のままでの質的な指標を模索し、地位の違いや本数管理の選択の違い、さらには、伐期の違いがどの程度収穫される材種区分の割合に影響するかについての推定を試みた。また、今回のプログラムは、九州地域のスギ林・ヒノキ林については、一応どのような本数管理が行われた林分であっても材種別の収穫予測が可能である。もし、現実林にそぐわない机上の林況を提示されれば、その矛盾は如実に指摘できるところまで整備できた。

一方、本研究では、立木の状態のままで材質の良し悪しを判断するための指標、たとえば、樹冠長比・枝下高・細り率などについて検討してきたが、これまではあまり深く材質にかかわる問題を検討していなかったことを反省して、木材部門のかんりの論文にも眼を通した。その中で最も痛感したことは、それぞれの研究部門が自己の研究に没頭するあまり、林分全体あるいは他の角度からの比較が十分でない場合もあるということであった。

ちなみに、2・3の例を上げれば、あまり過密な林分に育てると劣勢木では、その年輪が Starved wood と呼ばれる晩材の年輪幅が狭い悪い材になるといわれているが、具体的な年輪幅が何 mm 以下とは示されていないようである。また、幹を完満にするためには、ある程度密仕立てが望ましいとあるが、樹種・地位・林齢に見合った好適な本数密度の提示はあまり見ない¹²⁾¹³⁾。この場合、生産される総本数・総収穫量の中に含まれる価値の低い小径材の割合まで地位別に提示したのは、恐らく今回が初めてであろう。さらに、幹を完満に育てることが望ましいといいながら、完満度を表す指標がきわめてあいまいである。幹曲線のように梢頭までの型で示すならば、枝上の梢殺部分までには林分管理の技術は及んでおらず、また、今回のように、特定の上部直径(4 m)に固定すれば、地位・樹高の異なる立木に対しては 4 m 高の相対位置が異なってくる反面、1/2 樹高の上部直径としても、果たして本数管理の効果を明確に表せるかどうか疑問である。つまり、図 6 における上部直径のふくらみを如実に表す尺度の決定が望まれる。

加えて、さらに重要なことは、現実林における不整形木(曲がり木・ふたまた木・傷害木等)の混入割合である。このことに関しては、本研究では全く触れていない。何故ならば、不整形木の混入割合は、個々の林分の管理履歴、すなわち、苗・植付の良否、初期の保育の適否、さらには間伐時期・本数・選木の適否、突発的な風害・病虫害等々に大きく左右されるため、個々の林分において直接判別するしかなく、通常、何%と概括的には決められるものではない。以上のほか、近年、九州地域の高齢なヒノキ林においては、根株芯腐れ病が重大な被害として研究中⁶⁴⁾⁶⁵⁾であるが、その腐朽の速度(径と長さ)は、まだ明らかにされていない。もし、腐朽の速度が割合に速く、元玉の心材部に空洞が生ずれば、最も価値が高いとされている元玉を伐り捨てなければならなくなり、本研究で望ましい伐期と予想した 60 年まで維持できない林分も表れるかも知れない。

このように、経営者は色々な研究部門の情報を入手して、より望ましい林分に育てるための配慮と選択が肝要である。しかし、研究はその緒についたばかりといっても過言ではなく、今後さらに、多くの観点からの修正・改善が必要であろう。特に、上述した完満度の指数化や本研究で取り上げた D/H 比や樹冠長比は、林分管理において量質両面の視点を兼ね備えた重要な指標であると指摘できよう。これらのうち、D/H 比に対する森林経理学における生長論的な位置づけについては、他の数式との関係も含めて箕輪⁶⁶⁾が詳述した。また、本研究では、これまで、とかく平均値や ha 当たりの収穫量のよう、点として表示されてきたことを改め、林分の立地・環境さらには人為的な管理履歴の諸条件に対する林木の成長反応の上限・下限の幅、さらには直径・樹高の分布に対する認識の必要性をある程度具体的に提示することができた。

最後に、今回の研究において、熊本大学教育学部 大迫靖雄教授には直接、種々有益な知識を賜った。また、質問に心よく回答を賜った元林業試験場 加納 孟博士、高知大学農学部 岩神正朗博士、京都大学農学部 佐伯 浩助教授、東京農工大農学部 船田 良大学院生、本場木材部 三輪雄二郎主任研究官の各位に心から謝意を申しのべる。

引用文献

- 1) 森田栄一：日林九支研論，37，37～38，（1984）
- 2) ———：林統研誌，9，5～18，（1984）
- 3) ———：同上，11，48～57，（1986）
- 4) ———：暖帯林，423，16～22，（1987）
- 5) ———：日林九支研論，32，73～74，（1979）
- 6) ———：同上，33，29～30，（1980）
- 7) ———：同上，33，31～32，（1980）
- 8) ———：同上，34，51～52，（1981）
- 9) ———：同上，35，31～32，（1982）
- 10) ———：同上，35，33～34，（1982）
- 11) ———：同上，36，53～54，（1983）
- 12) ———：林業技術，515，42～44，（1985）
- 13) ———：林試九支年報，27，22～26，（1985）
- 14) ———：林統研誌，4，7～19，（1979）
- 15) ———：同上，12，63～76，（1987）
- 16) ———：日林九支研論，40，39～40，（1987）
- 17) ———：九州地方ヒノキ人工林における一番丸太の材種別収獲量の予想，1～14，（1985）
- 18) ———：林統研誌，13，89～100，（1988）
- 19) ———：日林九支研論，41，27～30，（1988）
- 20) 家原敏郎：97 回日林論，173～175，（1986）
- 21) 藤原新二・岩神正明：木材学会要旨，35，p. 32，（1985）
- 22) 大塚 誠他：同上，33，p. 50，（1983）
- 23) 島地 謙他：同上，28，p. 115，（1978）
- 24) 大迫靖雄：同上，29，p. 63，（1979）
- 25) 島地 謙他：同上，29，p. 64，（1979）
- 26) 遠矢良太郎：同上，29，p. 65，（1979）
- 27) 三輪雄四郎：同上，33，p. 31，（1983）
- 28) ———：同上，36，p. 72，（1986）
- 29) 斎藤久夫他：同上，26，p. 40，（1976）
- 30) 佐々木康寿：同上，29，p. 67，（1979）
- 31) 斎藤久夫他：同上，31，p. 58，（1981）
- 32) 福原敬彦他：同上，36，p. 73，（1986）
- 33) 畔柳 鎮：同上，17，p. 214，（1967）
- 34) 久保隆文・熊木自輔：同上，27，p. 294，（1977）
- 35) ———・———：同上，28，p. 117，（1978）
- 36) 塩原 豊：同上，29，p. 39，（1979）
- 37) 久保隆文他：同上，30，p. 78，（1980）
- 38) ———他：同上，31，p. 48，（1981）
- 39) 船田 良・久保隆文：同上，34，p. 253，（1984）
- 40) ———他：同上，35，p. 8，（1985）
- 41) 須藤彰司他：同上，17，p. 218，（1967）

- 42) 久保隆文・蕪木自輔：同上，**23**, p. 147, (1973)
- 43) 堀場義平・緒方清八：同上，**23**, p. 165, (1973)
- 44) ————：同上，**24**, p. 54, (1974)
- 45) 川口正夫：同上，**26**, p. 42, (1976)
- 46) 藤原新二・中山義雄：同上，**32**, p. 17, (1982)
- 47) 小田一幸・仲宗根平男：同上，**32**, p. 20, (1982)
- 48) 渡辺治人：同上，**17**, p. 224, (1967)
- 49) 坂下久美子・佐伯 浩：同上，**35**, p. 9, (1985)
- 50) 久保隆文他：同上，**24**, p. 56, (1974)
- 51) 佐伯 浩：同上，**26**, p. 53, (1976)
- 52) 石田茂雄：同上，**18**, p. 230, (1968)
- 53) 野淵 正他：同上，**28**, p. 152, (1978)
- 54) ————：同上，**29**, p. 55, (1979)
- 55) 松山将壮・伊東貴文：同上，**35**, p. 224, (1985)
- 56) 長尾博文他：同上，**35**, p. 367, (1985)
- 57) 橘田紘洋：同上，**28**, p. 121, (1978)
- 58) 佐道 健：同上，**28**, p. 122, (1978)
- 59) 森田栄一：林統研誌，**10**, 25～35, (1985)
- 60) 西沢正久他：日林九支研論，**29**, 47～48, (1976)
- 61) ————他：林試研報，**176**, 1～54, (1965)
- 62) 森田栄一：林統研誌，**11**, 70～75, (1986)
- 63) ————：日林九支研論，**39**, 33～34, (1986)
- 64) 河辺祐嗣他：日林九支研論，**40**, 207～208, (1987)
- 65) 楠木 学他：林試九州支場年報，**30**, p. 16, (1988)
- 66) 箕輪光博：林統研誌，**10**, 1～24, (1985)