

## 長伐期林の収穫予測システムの開発

牧本 卓史 西山 嘉寛

Development of the Predictive Yield System on the Overmature Sugi and Hinoki Plantation.

Takushi MAKIMOTO Yoshihiro NISHIYAMA

### 要 旨

牧本卓史・西山嘉寛：長伐期林の収穫予測システムの開発 岡山県林試研報21：43 - 52  
 2005 木材需給バランスの平準化，大径材の安定供給，林地保全などを目的とする，スギ，ヒノキ人工林の長伐期化を推進するため，長伐期に対応した既存の林分収穫予想表の修正と，収穫予測システムの開発を行った。本研究では，新たにスギ49林分，ヒノキ46林分の高齢級データを収集し，これまでに岡山県で林分収穫予想表を作成した際に用いた林分データを併せたスギ228林分，ヒノキ222林分のデータを林分収穫予想表の修正に供した。林齢と上層樹高の関係については，適合度を検討した5式のうち，ミッチャー・リッヒ式が最も適合度が高かった。これについては，今回の修正では，従来の林分収穫予想表との差は認められなかった。林齢と平均胸高直径の関係については，検討した5式のうちべき乗式が最も良く適合した。今回の修正で，同じ林齢の平均胸高直径は，これまでの試算値と比べて大きな値をとることがわかった。これらの解析データを利用して，収穫予測システムを構築した。システムは，林齢，上層木平均樹高，平均胸高直径，立木密度を入力し，収量比数，密度階級及び地位級を表示させ，さらに直径階別本数とそれぞれの材積を算出するものとした。また，必要に応じて，間伐方法，間伐本数率，予測林齢を入力シートに入力することで，間伐前後の林況や間伐を経た将来の林況を予測することができるものである。このシステムを利用することで，より具体的な将来予測を行い，綿密な施業計画を立てることができる。また，現況及び予測林齢における細り表を出力シートに組み込んだことで，直接的に経営の参考に資することも可能となった。  
 キーワード：長伐期，林分収穫予想表，収穫予測システム

### はじめに

岡山県内の齢級別スギ，ヒノキ人工林面積比は，特定の齢級に著しく偏っており，スギ人工林では，7～11齢級に全体の77.0%，ヒノキ人工林では，5～10齢級に76.4%，スギ，ヒノキ双方をあわせると，全

体の75.5%が5～10齢級にある（岡山県 2005，表-1）。これらを従来通りの40～60年を基本とする伐期で皆伐すると，今後30年間に著しい供給過多が見込まれるだけでなく，林地保全上の弊害も懸念されている。

表-1 岡山県のスギ，ヒノキ人工林の齢級別面積比面積比（%）

齢級	スギ	ヒノキ	計
1	0.1	0.6	0.5
2	0.2	2.1	1.6
3	0.6	3.7	3.0
4	1.4	6.8	5.5
5	2.6	12.1	9.8
6	3.8	14.8	12.1
7	10.8	16.3	14.9
8	17.7	12.4	13.7
9	17.9	10.3	12.2
10	19.7	10.5	12.7
11	10.9	4.7	6.2
12	3.5	1.2	1.7
13	3.1	1.0	1.5
14	2.2	0.9	1.2
15	5.6	2.5	3.3
	100.0	100.0	100.0

現在，岡山県（1999）は，木材需給バランスの平準化，大径材の安定供給，林地保全などを目的として，スギ，ヒノキ人工林の伐期を長期化し，高齢林へと誘導する取り組みを進めている。さらに，両樹種について伐期を最大150年までとすることを提言し，これを受け，林齢を最大150年とする林分収穫予想表が作成された（西山ら2002，21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会 2002）。西山ら（2002）は，作成した林分収穫予想表について，林齢が80年を超える高齢級の林分データが少ないため，林齢150年までの収穫予想表の精度に大きな問題が残っており，さらなるデータ収集と収穫予想表の修正が必要であることを指摘している。

また，スギ，ヒノキ人工林については，林分収穫予想表が各地で作成されており，現時点では，林齢

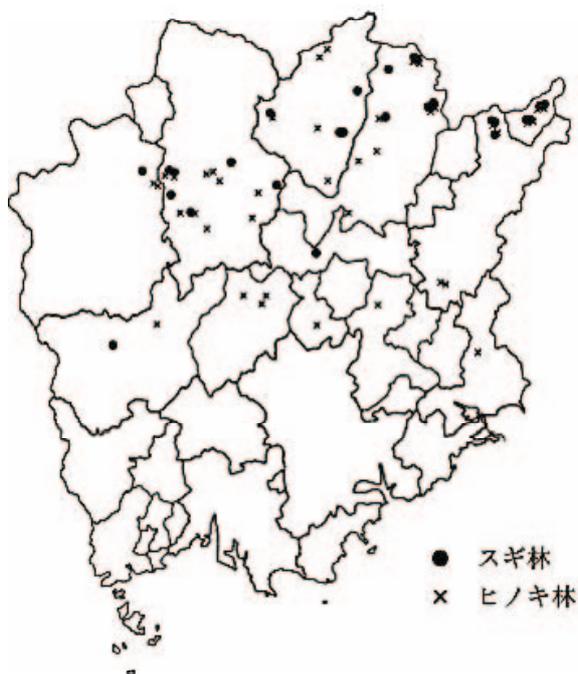


図-1 調査地位置図（2003～2004年分）

を最大200年までとした静岡県の事例（鈴木ら1998），林齢を最大100年までとした高知県の事例（西村1993），林齢を最大80年までとした事例（山本ら1985，稲田ら1987，家原1990）がある。しかし、これらは全て他地方の林分に適応されるもので、密度管理図が北近畿・中国地方に含まれている岡山県に適用可能な林分収穫予想表は、修正の必要性を残した西山のもの以外には未だ確立されていない。

そこで、本研究では先に西山らが作成した、対象林齢を最大150年までとした林分収穫予想表を、新たに収集した高齢林データを加えて修正することを目的とした。

また、実際に長伐期施業を推進するに当たり、一般の林家に広く長伐期施業の有効性や管理方法を普及する媒体が必要になる。これまでその役割を果たしてきたのが林分収穫予想表や密度管理図とそれに基づく施業体系図などであった。しかし、これらの資料は蓄積などの林況を林分レベルで示すのみで、直径階分布や直径階毎の材積などを詳細に知ることができなかった。また、これらを用いて林分管理計画を立て、将来像を管理方法ごとに知るためには、詳細な知識と複雑な手続きを要する。森林所有者の世代交代が進みつつある中、これらの資料は十分な活用が困難であり、よりわかりやすい普及資料が求められている。そこで、本研究では、林分収穫予想表の作成に供した林分データと解析結果に基づき、簡単な標準地調査とその結果の入力で、誰でもが簡

便に利用できる予測システムの開発を行った。

### 方法

#### 1. 林分収穫予想表の作成

本研究で新たに収集した高齢林データは、スギ高齢林では林齢は70～135年の49林分、ヒノキ高齢林では林齢は70～143年の46林分である。各林分について、それぞれ0.04～0.10haの立木調査区を設け、調査区内の上層木10個体について、樹高及び胸高直径を測定した（図-1）。樹高は、LEDHA - GEOレ - ザ・デンドロメータ（三協インタ - ナショナル製）、およびブル - メライスにより0.1m精度で測定した。

これに加えて、2002年に西山が長伐期対応林分収穫予想表を作成した際に用いた、スギ70～135年生の25林分、ヒノキ70～143年生の33林分のデータを使用した。これは、2001年度より岡山県で実施している「21世紀おかやまの新しい森育成指針作成事業」の中で、伐期を最大150年とする長伐期施業体系を作成するため、県内各振興局森林課および農林水産部林政課計画係が中心となり、県中北部の高齢林実態調査を実施したものである。調査方法及び項目は、本研究で用いた方法と同様である。

さらに、岡山県（1984）が林齢を最大70年までとする林分収穫予想表を作成するとき用いたスギ人工林154林分（林齢11～69年生）、ヒノキ人工林143林分（林齢12～81年生）の林分データをを使用した。以上から、本研究に供した林分データ数は、スギ228林分、ヒノキ222林分データである。

林齢と上層木平均樹高の関係について、対数式、べき乗式、ゴンベルツ式、ロジスティック式、ミッチャ - リッヒ式の5式について検討した。最小二乗法により各曲線式をあてはめ、それぞれの残差平方和を比較した。次に対数正規変動帯により地位を5階級に区分した。

それぞれの対数正規変動帯は、

$$f(t_i) \cdot \exp \left\{ \pm \sqrt{(x^2(q;1)^{RSS} / (n-k))} \right\}$$

$$\text{ただし、RSS} = \left[ \log(y_i / f(t_i)) \right]^2$$

$f(t)$ : あてはめるモデル

$n$ : 観測値数

$k$ : あてはめるモデルのパラメータ数

$y_i$ : 観測値

$x^2(q;1)$ : 自由度1, 累積確率qにおける $x^2$ 分布の値として計算される。この累積確率qを変化させることにより、観測値の存在範囲を規定することができる。

地位の中心線および上限，下限に対応する累積確率の値については，稲田ら（1987）は3区分，西村（1993）は5区分する方法を報告している。今回は，地位を5等分することとし，後者の方法に従った。

- 一等地の中心線      ・ ・ 累積確率0.95の上端
- 一，二等地の境界線      ・ ・ 累積確率0.84の上端
- 二等地の中心線      ・ ・ 累積確率0.70の上端
- 二，三等地の境界線      ・ ・ 累積確率0.40の上端
- 三等地の中心線      ・ ・ 当てはめたモデル
- 三，四等地の境界線      ・ ・ 累積確率0.40の下端
- 四等地の中心線      ・ ・ 累積確率0.70の下端
- 四，五等地の境界線      ・ ・ 累積確率0.84の下端
- 五等地の中心線      ・ ・ 累積確率0.95の下端

林齢と平均胸高直径の関係については，一次式，ル-ト式，べき乗式，ゴンペルツ式，ロジスティック式，ミッチャ-リッヒ式の6式について検討した。最小二乗法により各関数式をあてはめ，それぞれの残差平方和を比較した。さらに，地位級と同じ方法で95%信頼区間を5階級に区分し，密度階級を決定した。

平均胸高直径と立木密度の関係について分数式，べき乗式，対数式，指数式，変形ゴンペルツ式の5種類の曲線式を当てはめた。このうち，1%水準で有意であり，決定係数（R<sup>2</sup>）が最も高い曲線式を選択し，95%信頼限界を求めた。

得られた林齢と上層樹高の関係式及び平均胸高直径と立木密度の関係式を使用して，10～150年まで各5年ごとの上層樹高（主林木），立木本数（主副林木）の値をそれぞれ求め，これをスギについては「北近畿・中国地方スギ林分密度管理図」の(1)～(5)式（林野 1980）に入力し，主副林木合わせた全材積，胸高断面積，平均胸高直径をそれぞれ求めた。

主林木の立木本数は5年経過すると，主林木だけでなく，副林木も生じる。その際，副林木はすべて間伐対象とするものとした。

主林木の上層樹高，主林木立木本数の値を再度(1)～(5)式に入力し，主林木材積，主林木平均胸高直径をそれぞれ求めた。以上の手順により，林齢10～150年まで5年間隔のスギ林分収穫予想表を作成した。

#### スギ林分

$$V = (0.061977H^{-1.351766} + 4725.2H^{-2.823636}/N)^{-1} \quad (1)$$

$$HF = 1.23249 + 0.35958H + 0.14730N^{0.5} \cdot H / 100 \quad (2)$$

$$G = V / HF \quad (3)$$

$$dg = 200(G / (\cdot N))^{0.5} \quad (4)$$

$$d = -0.32087 + 0.98240dg - 0.04745N^{0.5} \cdot H / 100 \quad (5)$$

#### ヒノキ林分

$$V = (0.0390819H^{-1.147348} + 8524.5H^{-3.102942}/N)^{-1} \quad (6)$$

$$HF = -0.089118 + 0.463318H + 0.178773N^{0.5} \cdot H / 100 \quad (7)$$

$$G = V / HF \quad (8)$$

$$dg = 200(G / (\cdot N))^{0.5} \quad (9)$$

$$d = -0.029001 + 0.991780dg - 0.036553N^{0.5} \cdot H / 100 \quad (10)$$

ただし V : ha当たり材積

H : 上層樹高

N : ha当たりの立木密度

HF : 林分形状高

G : ha当たり胸高断面積

dg : 断面積平均直径

d : 平均胸高直径

ヒノキについては，「北近畿・中国地方ヒノキ林分密度管理図」の(6)～(10)式を用いた（林野 1983）。スギと同様の手順に従って，林齢10～150年まで5年間隔の林分収穫予想表を作成した。

林分収穫予想表は，スギ，ヒノキそれぞれに地位級5段階，密度階級5段階の合計25種類を作成した。

#### 2. 収穫予測システムの開発

林分収穫予想表の作成に用いた解析データを利用して，パソコン上で利用できる収穫予測システムを開発した。

システムは，多くの人が手軽に利用できるようマイクロソフトエクセルで構築した。システムでは，林齢，上層木平均樹高，平均胸高直径，立木密度の入力から，収量比数，密度階級及び地位級を表示させ，さらに直径階別本数とそれぞれの材積を算出するものとした。密度階級及び地位級は，林分収穫予想表に適用した関数式によって算出した。直径階別本数の推定については，3種のパラメータの取る値によって分布が多様に変化するワイブル分布を適応する手法がよく知られている（田中ら 1992）。本システムでは，入力された林齢から(11)式に表すワイブル分布の確率密度関数の各パラメータを決定し，求められたワイブル関数に直径階の幅(2cm)を乗じ，推定直径分布とした。

$$f(x) = (c/b) \cdot (x/b)^{c-1} \cdot \text{EXP}(-(x/b)^c) \quad (11)$$

ただし  $x = \bar{D} - a$

$\bar{D}$  : 平均胸高直径

a : 位置のパラメータ

b : 尺度のパラメータ

c : 形のパラメータ

**結果と考察**

1. 林分収穫予想表の作成

林齢と上層樹高の関係については、対数式、べき乗式、ゴンベルツ式、ロジスティック式、ミッチャ-リッヒ式の以上5種類の関数式をそれぞれ当てはめた。その結果、林齢と上層樹高の間には、両樹種と

もミッチャ-リッヒ式が最も適合度が高かった(表-2,3,図-2~5)。このことから、本報ではスギ、ヒノキともにミッチャ-リッヒ式をモデル式として適用することとした。ミッチャ-リッヒ式を適用した場合、スギでは林齢が50, 100, 150年生時で上層樹高はそれぞれ20.8, 31.2, 36.8mと試算された。

表-2 スギ人工林における林齢と上層樹高の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
対数式	$y = 12.4 \cdot \ln(x) - 26.8$	0.875	1,576.7 **
べき乗式	$y = 1.53 \cdot x^{0.659}$	0.853	1,308.1 **
ゴンベルツ式	$y = 42.9 \cdot 0.155^{0.982x}$	0.879	1,634.7 **
ロジスティック式	$y = 42.9 / (1 + 4.06 \cdot \exp(-0.0244x))$	0.854	1,320.2 **
ミッチャ-リッヒ式	$y = 42.9 \cdot (1 - 0.975 \cdot \exp(-0.0128x))$	0.879	1,642.2 **

\*\* P < 0.01

表-3 ヒノキ人工林における林齢と上層樹高の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
対数式	$y = 10.9 \cdot \ln(x) - 24.0$	0.853	1,276.4 **
べき乗式	$y = 1.19 \cdot x^{0.680}$	0.860	1,352.9 **
ゴンベルツ式	$y = 38.2 \cdot 0.138^{0.983x}$	0.805	905.6 **
ロジスティック式	$y = 38.2 / (1 + 4.46 \cdot \exp(-0.0239x))$	0.816	974.2 **
ミッチャ-リッヒ式	$y = 38.2 \cdot (1 - 0.970 \cdot \exp(-0.0117x))$	0.865	1,407.0 **

\*\* P < 0.01

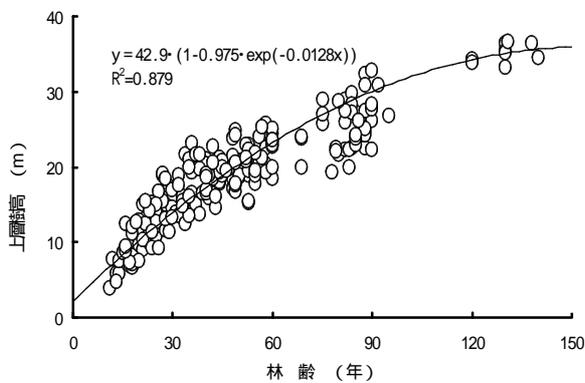


図-2 スギの林齢と上層樹高の関係

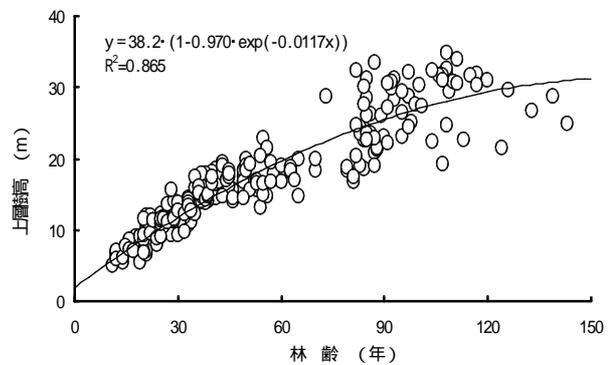


図-3 ヒノキの林齢と平均樹高の関係

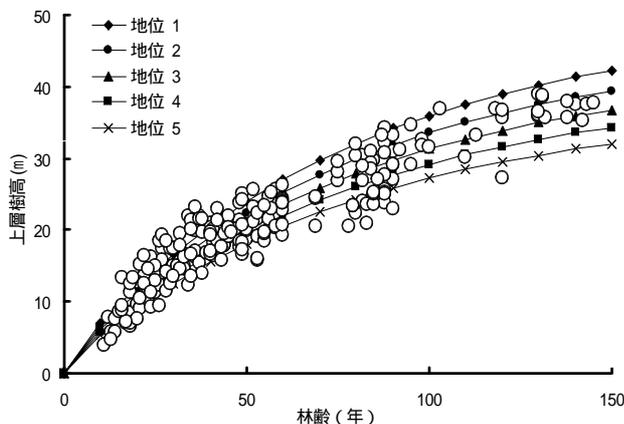


図-4 スギ林における対数正規変動帯による地位別上層樹高曲線

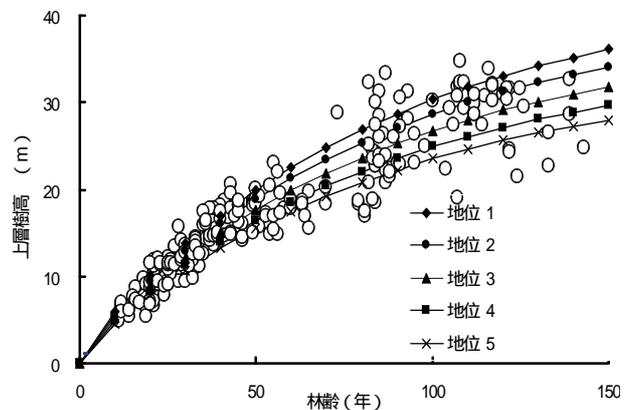


図-5 ヒノキ林における対数正規変動帯による地位別上層樹高成長曲線

ヒノキでも林齢が50, 100, 150年生時で上層樹高はそれぞれ17.6, 26.7, 31.8mとなり、スギと同様に、林齢の増加とともに上層樹高の成長量は鈍化していくことが明らかになった。

上層樹高の数値が最も高い地位1では、林齢が50, 100, 150年生時で、スギではそれぞれ24.0m, 36.0

m, 42.3mに達していたのに対し、逆に上層樹高の数値が最も低い地位級5では、それぞれ17.8m, 26.6m, 30.9mと試算された。林齢の増加とともに地位級別の上層樹高の差はしだいに拡大し、林齢が150年生時では最大11m以上も上層樹高に開きが発生すると試算された。

表-4 スギ人工林における林齢と平均胸高直径の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
一次式	$y = 0.515x + 1.99$	0.870	1,512.7 **
ルート式	$y = 7.81 \cdot x - 25.2$	0.828	1,084.0 **
べき乗式	$y = 1.00 \cdot x^{0.850}$	0.898	1,986.0 **
ゴンベルツ式	$y = 103 \cdot 4.0526^{0.984x}$	0.832	1,118.7 **
ロジスティック式	$y = 103.4 / (1 + 10.5 \cdot \exp(-0.0249x))$	0.871	1,530.2 **

\*\* P < 0.01

表-5 ヒノキ人工林における林齢と平均胸高直径の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
一次式	$y = 0.366x + 4.07$	0.865	1,414.2 **
ルート式	$y = 5.51 \cdot x - 14.8$	0.878	1,580.3 **
べき乗式	$y = 1.02 \cdot x^{0.793}$	0.898	1,945.4 **
ゴンベルツ式	$y = 72.6 \cdot 0.0782^{0.985x}$	0.831	1,081.9 **
ロジスティック式	$y = 72.6 / (1 + 8.20 \cdot \exp(-0.0240x))$	0.860	1,348.1 **

\*\* P < 0.01

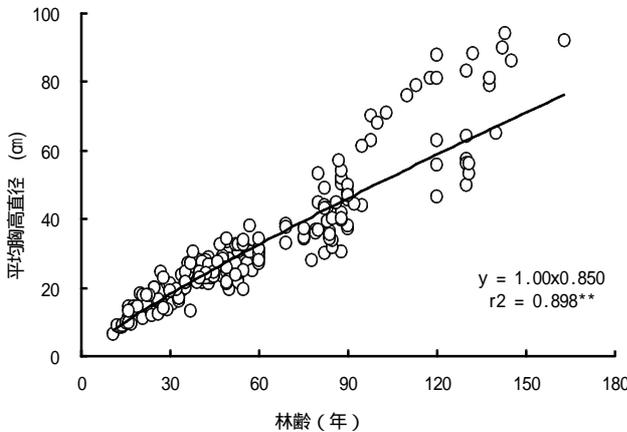


図-6 スギ人工林における林齢と平均胸高直径の関係

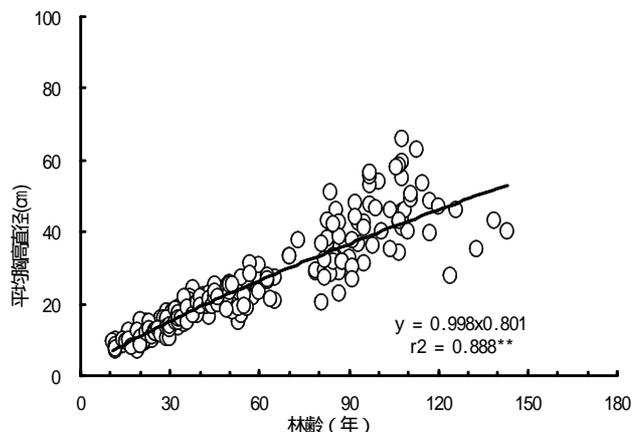


図-7 ヒノキ人工林における林齢と平均胸高直径の関係

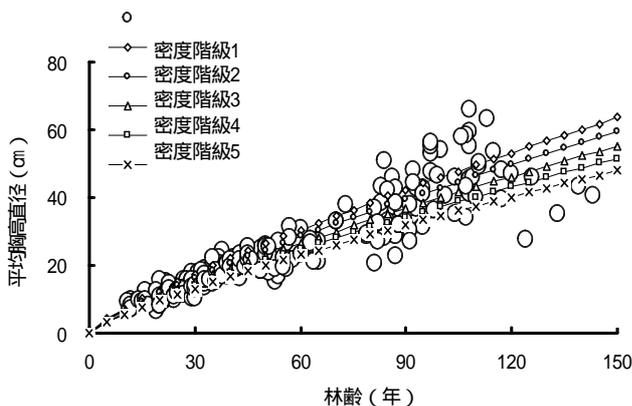


図-8 べき乗式によるヒノキ林密度階級中心線

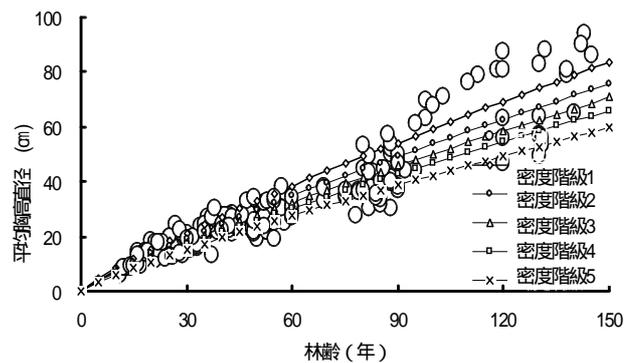


図-9 べき乗式によるスギ林密度階級中心線

ヒノキでは、林齢が50, 100, 150年生時で、地位1の上層樹高はそれぞれ20.0m, 30.4m, 36.2mに達していたのに対し、地位級5ではそれぞれ15.4m, 23.5m, 28.0mと試算された。林齢が50, 100, 150年生時における上層樹高の差はそれぞれ4.6, 6.9, 8.2mとなり、スギと同様、林齢の増加とともに上層樹高の差は拡大していたが、ヒノキに比べその差は小さい傾向が認められた。

林齢と胸高直径の関係について、対数式、べき乗式、ゴンベルツ式、ロジスティック式、ミッチャーリッヒ式の以上5種類の関数式をそれぞれ当てはめた。その結果、林齢と平均胸高直径の間には、スギ、ヒノキともにべき乗式が最も良く適合した(表-4,5, 図-6~9)。そこで、本研究では、スギ、ヒノキともに、べき乗式を胸高直径モデルとして適用することとした。

べき乗式を適用した場合、スギでは、林齢が50, 100, 150年生時で平均胸高直径はそれぞれ28.0,

50.7, 71.6cm, ヒノキではそれぞれ22.4, 37.9, 51.7cmであった。

密度階級別に比較すると、平均胸高直径が最も大きくなる密度階級1では、スギ林の50, 100, 150年生時の平均胸高直径が33.2cm, 60.0cm, 84.8cmに対し、最も小さい密度階級5では、同じく23.7cm, 42.8cm, 60.5cmと150年生時で24.3cmもの差が生じることがわかった。ヒノキ林でも、50, 100, 150年生時の平均胸高直径は、密度階級1で25.7cm, 43.6cm, 59.4cmに対し、同じく密度階級5では19.4cm, 33.0cm, 44.9cmとなり、150年生時で14.5cmの差が生じる試算値となった。

平均胸高直径と立木本数の関係について、スギ、ヒノキともに5種類の曲線式を当てはめた結果、べき乗式による決定係数(R<sup>2</sup>)が最も高く、1%水準で有意であった(表-6,7, 図-10,11)。さらに、林齢と密度階級別平均胸高直径の関係式にこの式を代入して、密度階級別の立木密度を算出した(図

表-6 スギ人工林における平均胸高直径と立木密度の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
分数式	$y = 32077/x - 226$	0.854	1,367.6 **
べき乗式	$y = 58629 \cdot x^{-1.27}$	0.864	1,475.0 **
対数式	$y = -1288 \cdot \log(x) + 5405$	0.752	707.0 **
指数式	$y = 2580.4 \cdot 0.967^x$	0.752	706.6 **
変形ゴンベルツ式	$y = 4200 - (3980 \cdot \exp(-3.68 \cdot \exp(-0.115x)))$	0.863	1,466.0 **

\*\* P < 0.01

表-7 ヒノキ人工林における平均胸高直径と立木密度の関係

関数名	関数式	決定係数 (R <sup>2</sup> )	F 値
分数式	$y = 30712/x - 290$	0.871	1,667.6 **
べき乗式	$y = 80236 \cdot x^{-1.42}$	0.899	2,192.8 **
対数式	$y = -1491 \cdot \log(x) + 5960$	0.828	1,183.7 **
指数式	$y = 3709 \cdot 0.950^x$	0.866	1,583.5 **
変形ゴンベルツ式	$y = 4800 - (4570 \cdot \exp(-2.88 \cdot \exp(-0.125x)))$	0.878	1,777.3 **

\*\* P < 0.01

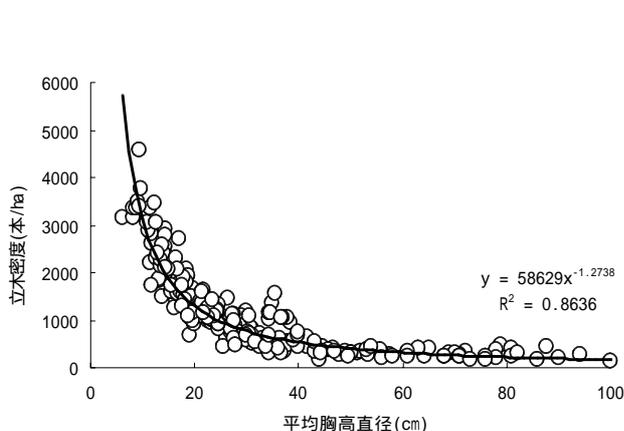


図-10 スギの平均胸高直径と立木密度の関係

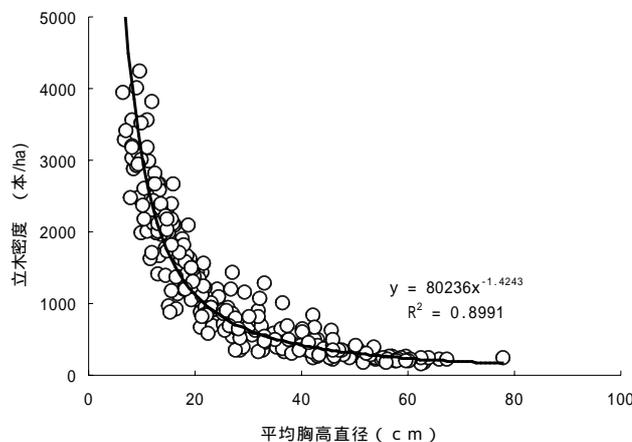


図-11 ヒノキの平均胸高直径と立木密度の関係

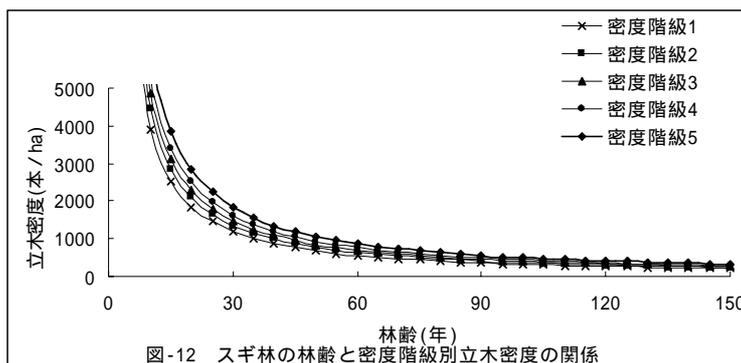


図-12 スギ林の林齢と密度階級別立木密度の関係

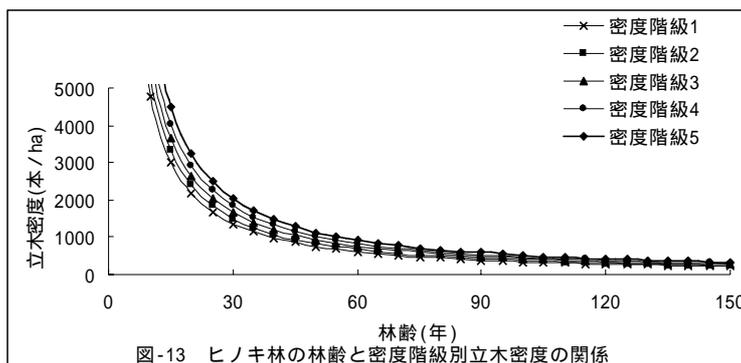


図-13 ヒノキ林の林齢と密度階級別立木密度の関係

-12,13)。

これらの結果を基に、林齢ごとの上層樹高、平均胸高直径、立木密度の予測値を算出し、地位級及び密度階級を5段階に分けた林分収穫予想表をスギ、ヒノキそれぞれ25種類作成した。

今回の解析結果を西山(2002)が作成した林分収穫予想表と比較した。

樹高では、地位級、密度階級共に中庸である地位3、密度階級3(西山の林分収穫表の場合地位中、密度階級5)のとき、スギ林50、100、150年生時の樹高がそれぞれ今回が20.8m、31.3m、36.8mであるのに対し、西山の林分収穫予想表は20.5m、31.4m、39.3mとほとんど差がなかった。同じくヒノキ林でも、今回が17.6m、26.7m、31.8m、西山の林分収穫予想表が17.6m、26.3m、30.9mとなり、スギ林同様ほとんど差がない結果となった。

一方、平均胸高直径では地位級、密度階級共に中庸である地位3、密度階級3(西山の林分収穫表の場合地位中、密度階級5)のとき、スギ林50、100、150年生時の平均胸高直径がそれぞれ今回が28.7cm、50.7cm、70.2cmであるのに対し、西山の林分収穫予想表では26.5cm、38.7cm、44.1cmと林齢に従って著しく大きくなる試算値となった。ヒノキ林でも、同じく今回が23.0cm、38.5cm、51.7cmとなったのに対し、西山の林分収穫予想表では23.6cm、33.5cm、37.0cmとなり、スギ林ほどではないまでも、高齢時まで旺盛な肥大成長を続けることが予測された。

また、林齢と平均胸高直径の関係、平均胸高直径と立木密度の関係から算出した林齢と立木密度の関係では、150年生時のスギ林の立木密度は、最も密度が低くなる密度階級1で208本/haとなったのに対し、密度階級5では320本/haと約1.5倍の差が生じた。ヒノキ林の場合も、150年生時の立木密度が密度階級1で216本/haとなったのに対し密度階級5では323本/haとスギ林同様約1.5倍の開きとなった。立木密度についても、地位級、密度階級共に中庸である地位3、密度階級3のときの予測値を西山の林分収穫表の地位中、密度階級5の予測値と比較すると、150年生時のスギ林の場合、今回の予測値が249本/ha、西山の林分収穫予想表が484本/ha、同様にヒノキ林でも、150年生時の立木密度の予測値が今回は262本/ha、西山の林分収穫予想表が499本/haとなり、両樹種とも約半分の立木密度の予測値となった。

## 2. 収穫予測システムの開発

本システムは、林齢及び予測対象林分内に設けた標準地において事前に調査した、上層木平均樹高(m)、平均胸高直径(cm)、立木密度(本/ha)の入力を求める(図-14)。この測定値に加え、必要に応じて、間伐方法、間伐本数率、予測林齢をメインシートに入力することで、間伐前後の林況や間伐を経た将来の林況を予測することができる(図-15)。間伐方法は、「径級の小さいものから間伐する」「径級の大きい

樹種	ヒノキ	
所在地 (町 大字 小字)	勝田郡勝央町植月中1001	
林齢 (年)		40
上層樹高 (m)		14.6
平均胸高直径 (実測値) (cm)		18.7
立木密度 (実測値) (本/ha)		1,800
地位 (1~5)	3	
密度階級 (1~5)	3	
収量比数 (Ry)		0.80



図-14 入力画面の一例。現在の林況。

間伐前後の状況

項目	間伐前	間伐後
林齢 (年)	40	
上層樹高 (m)	14.6	14.6
平均胸高直径 (cm)	18.7	18.3
立木密度 (本/ha)	1,800	1,260
収量比数 (Ry)	0.80	0.68
地位 1~5	3	3
密度階級 1~5	3	4

項目	間伐内容
間伐方法	列状間伐
間伐本数	540 本/ha
間伐本数率	30.0 %
間伐材積率	30.0 %

胸高直径階 (cm)	樹高 (m)	立木本数 (本/ha)	間伐本数 (本/ha)	間伐後本数 (本/ha)	間伐前材積 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐材積 (m <sup>3</sup> /ha)	間伐後材積 (m <sup>3</sup> /ha)
14	9.3	67	20	47	3.7	1.1	2.6
16	10.8	216	65	151	18.6	5.6	13.0
18	12.3	368	110	258	47.0	14.0	32.9
20	13.9	429	129	300	77.4	23.3	54.1
22	15.4	363	109	254	89.2	26.8	62.4
24	16.9	223	67	156	72.3	21.7	50.6
26	18.3	97	29	68	40.4	12.1	28.3
28	19.7	30	9	21	15.7	4.7	11.0
30	21.0	6	2	4	3.9	1.3	2.6
32	22.2	1	0	1	0.8	0.0	0.8
34	23.4	0	0	0	0.0	0.0	0.0
36	24.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0
38	25.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0
40	26.4	0	0	0	0.0	0.0	0.0
42	27.3	0	0	0	0.0	0.0	0.0
44	28.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
46	28.7	0	0	0	0.0	0.0	0.0
48	29.4	0	0	0	0.0	0.0	0.0
50	30.0	0	0	0	0.0	0.0	0.0
52	30.5	0	0	0	0.0	0.0	0.0
		1,800	540	1,260	368.9	110.6	258.3

図-15 出力画面の一例。間伐前後の林況。

ものから間伐する」「列状間伐する」「間伐しない」の4種から選択するものとした。間伐率は、本数間伐率で入力するものとしたが、間伐方法によって間伐される材積を算出し、材積間伐率を表示させた。胸高直径階別の樹高は、上層樹高の実測値と当該林齢における上層樹高の予測値の差を補正して近似させたゴンベルツ式を用いて、直径の関数として算出するものとした。

出力データは、現在の林況と予測林齢における林況にわけて出力される(図-15,16)。現在の林況について出力される項目は、収量比数、地位級、密度階級、間伐材積率、直径階別立木本数、直径階別間伐本数、直径階別材積、直径階別間伐材積、間伐前後を表す径級別立木本数ヒストグラム、現時点の細り表である。予測林齢における林況では、上層樹高、平均胸高直径、立木密度、収量比数、地位級、密度階級、直径階別立木本数、直径階別材積、直径階別

立木本数ヒストグラム及び細り表が出力される。

本システムを利用すると、現在の林分に適合する林分収穫予想表を検索する手間を省いて、簡単な標準地調査だけで詳細な将来予測をすることができる。また、それぞれの時点で収量比数及び密度階級が決定されることから、次回間伐予定林齢までの予測を実行して、さらに予測結果を始点とする予測を繰り返し行うことで、きめ細かく適正な施業計画を立てる参考として活用することができる。また、予測林齢における蓄積は、間伐直後の収量比数によって変化する。このことから、間伐を実施するか否か、もしくは間伐強度の違いによって将来の林分にどのような変化が現れるのかを簡単に比較することもできる。

さらに、現時点及び予測林齢における細り表を組み合わせた(図-17)。また、別シートに予測したい林分の実面積を入力することで、メインシートではha

予測林齢における林況

予測林齢 (年)	80
上層樹高 (m)	23.0
平均胸高直径 (cm)	31.0
立木密度 (本/ha)	562
収量比数 (Ry)	0.71
地位 1~5	3
密度階級 1~5	3

胸高直径階 (cm)	樹高 (m)	立木本数 (本/ha)
20	15.4	4
22	16.9	22
24	18.3	48
26	19.7	71
28	21.0	86
30	22.2	89
32	23.4	80
34	24.5	64
36	25.5	45
38	26.4	27
40	27.3	15
42	28.0	7
44	28.7	3
46	29.4	1
48	30.0	0
50	30.5	0
52	31.0	0
54	31.4	0
56	31.8	0
58	32.1	0
60	32.4	0

単材積 (m <sup>3</sup> /ha)	総材積 (m <sup>3</sup> /ha)
0.246	1.0
0.324	7.1
0.416	20.0
0.523	37.1
0.643	55.3
0.778	69.2
0.926	74.1
1.088	69.7
1.264	56.9
1.451	39.2
1.651	24.8
1.863	13.0
2.086	6.3
2.319	2.3
2.562	0.0
2.816	0.0
3.078	0.0
3.349	0.0
3.629	0.0
3.917	0.0
4.213	0.0

562

475.9

項目	間伐本数 (本/ha)	残存本数 (本/ha)
現在の密度階級を維持(下層木を残) 密度階級 3	25	536
現在の密度階級を維持(下層木伐採) 密度階級 3	61	501
適正密度(下層木を残す)	25	536
適正密度(下層木伐採)	61	406

図-16 出力画面の一例。予測林齢における林況。

胸高直径階 (cm)	樹高 (m)	地上高 (m)												
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
12	9.3	10.7	9.1	6.5	2.9									
14	10.8	12.6	11.2	9.0	5.8	1.8								
16	12.3	14.5	13.3	11.3	8.6	5.0	0.8							
18	13.9	16.4	15.3	13.6	11.1	8.0	4.1							
20	15.4	18.3	17.3	15.7	13.5	10.7	7.2	3.2						
22	16.9	20.2	19.3	17.8	15.8	13.2	10.0	6.3	2.0					
24	18.3	22.1	21.3	19.9	18.0	15.6	12.6	9.2	5.2	0.7				
26	19.7	24.0	23.2	21.9	20.1	17.9	15.1	11.9	8.1	3.9				
28	21.0	25.9	25.1	23.9	22.2	20.1	17.4	14.4	10.8	6.8	2.4			
30	22.2	27.8	27.1	25.9	24.2	22.2	19.7	16.7	13.4	9.5	5.3	0.6		
32	23.4	29.7	29.0	27.8	26.2	24.2	21.8	19.0	15.7	12.1	7.9	3.4		
34	24.5	31.6	30.9	29.7	28.2	26.3	23.9	21.2	18.0	14.4	10.4	6.0	1.2	
36	25.5	33.4	32.7	31.6	30.1	28.2	25.9	23.3	20.2	16.6	12.7	8.4	3.7	
38	26.4	35.3	34.6	33.5	32.1	30.2	27.9	25.3	22.2	18.8	14.9	10.7	6.1	1.1
40	27.3	37.2	36.5	35.4	34.0	32.1	29.9	27.3	24.2	20.8	17.0	12.8	8.3	3.3
42	28.0	39.1	38.4	37.3	35.9	34.0	31.8	29.2	26.2	22.8	19.0	14.9	10.3	5.4
44	28.7	40.9	40.3	39.2	37.7	35.9	33.7	31.1	28.1	24.7	20.9	16.8	12.3	7.3
46	29.4	42.8	42.1	41.1	39.6	37.8	35.5	32.9	29.9	26.6	22.8	18.6	14.1	9.2
48	30.0	44.7	44.0	42.9	41.5	39.6	37.4	34.8	31.7	28.4	24.6	20.4	15.9	10.9
50	30.5	46.5	45.9	44.8	43.3	41.4	39.2	36.5	33.5	30.1	26.3	22.1	17.5	12.6
52	31.0	48.4	47.7	46.6	45.1	43.3	41.0	38.3	35.3	31.8	28.0	23.8	19.1	14.1

図-17 出力画面の一例。細り表。

換算値で出力されている本数や材積等のデータを、実面積に換算して表示するようにした。これらを活用することで、収入間伐や将来の収穫時における採材計画の参考とすることができ、長伐期に移行する際の細やかな経営計画の参考となる。

本システムを構築したExcelの同一Book内に、25種類の長伐期に対応した新たな林分収穫予想表も添付しており、システムの利用者は、林分収穫予想表をダイレクトに参照することもできる。

### 結論

現在、林分収穫予想表の中で、林齢が150年以上を想定したものは静岡県(鈴木 1993)、林齢100年生までについても高知県の事例があるのみである。長伐期施策が今後さらに拡大していくことが予想され

る中で、林分収穫予想表の作成は急務であるといえる。ただし、岡山県の場合、林分密度管理図でも北近畿・中国地方で区分されているように、地域により、スギ、ヒノキの樹高成長、肥大成長も異なってくる。本研究で算出した平均胸高直径値は、これまでの報告に見られる予測値と比べ、明らかに大きい値をとっている。このことは、本研究において資料とした高齢級データに、社寺林等特異な成長条件下にある林分のデータが含まれていることも一因として推察される。しかし、実際の育林、経営という管理下にあるスギ、ヒノキ人工林で、適正施策によって成立した高齢林は現実には少なく、現時点ではこのようなデータに依らざるを得ない。ただし、社寺林が特異な条件下にあるとは言え、スギ及びヒノキが持つ潜在的な成長限界により近い成長を呈してい

ると考えることもできる。例えば、高齢級林分においても高齢時の成長は林分収穫表と現実の林分との間での乖離が非常に大きくなっているとする指摘（龍原 1999）や林分が60年を過ぎても材積成長は旺盛な成長を示したとする報告（家原 1993）がされており、今回の肥大成長曲線が示すように、高齢級林分の平均胸高直径値がこれまで過少に評価されていたことも否定はできない。

これらの点については、今後、不足していると考えられる林齢70年生以上の高齢級の林分データを、北近畿、中国地方エリアでさらに収集・蓄積し、この解析を進める必要がある。さらに、実際に長伐期化へと移行しつつある林分を追跡調査し、構築したモデルと実際の成長との適合度について引き続き検討していく必要がある。

#### 引用文献

- 家原敏郎（1990）大阪営林局管内国有林の高齢級林分の収穫予測（ ） - 収穫予想表の作成 - ，日林関西支部講 41：215-218.
- 稲田充男・新宮尚（1989）収穫予想表作成に関する研究（ ）対数正規変動帯による地位別上層樹高曲線，日林関西支部講40：95-98.
- 田中正臣・福本通治・藤平拓志（1992）スギ人工同齢林における林分収穫予想システムの開発（第1報）Weibull分布による直径分布の予測．奈良県林試研報22：1-9．
- 21世紀おかやまの新しい森育成指針検討会（2002）21世紀おかやまの新しい森育成指針検討委員会報告書 - 長伐期施業を目指して - .126pp. 岡山県，岡山.
- 岡山県農林水産部林政課（2005）岡山県の森林資源．岡山県．
- 西村正（1993）長伐期施業の経営技術に関する基礎調査，高知県林試研報22：1-14.
- 西山嘉寛・阿部剛俊（2002）スギ高齢林の林地保全に関する研究 - 林内における下層植生量の現存量および植被率の推定 - . 森林応用研究 11(2)：1-6.
- 西山嘉寛・阿部剛俊（2002）長伐期施業に対応する森林管理技術の研究 - 高齢林内における下層植生量の現存量の推定と林分収穫予想表の作成 - . 岡山県林試研報18：33-66.
- 西山嘉寛・阿部剛俊（2003）岡山県北部のヒノキ高齢林における下層植生の現存量および植被率の推定 - . 森林応用研究 12(1)：151-157.
- 岡山県農林部（1984）スギヒノキ人工林収穫予想表及び林材積表，125pp，岡山.
- 岡山県農林部（1999）岡山21世紀森林・林業ビジョン - 人と森林の共生をめざした新たな転換 - . 107pp. 岡山県，岡山.
- 林野庁（1980）スギ人工林分密度管理図説明書 - 北近畿・中国地方 - ，84pp，東京.
- 林野庁（1983）ヒノキ人工林分密度管理図説明書 - 北近畿・中国地方 - ，29pp，東京.
- 桜井尚武（2002）長伐期林の実際 - その効果と地理扱い技術 - ，わかりやすい林業研究解説シリーズ No.110，（財）林業科学技術振興所，173pp，東京.
- 鈴木正（1985）スギ・ヒノキ長伐期施業における林分密度管理試案，静岡林試研報13：17-21
- 鈴木正（1995）大径材生産の林業，林業改良普及双書．121，175pp，（社）全国林業改良普及協会，東京.
- 鈴木善郎・野上啓一郎（1998）静岡県スギ及びヒノキ人工林システム収穫表の作成 - 長伐期施業に対応する密度管理と収穫予測システムの開発 - ，静岡林技セ研報 15：15-49.
- 山本充男・安井鈞（1983）島根県スギ人工林収穫予想表1：林分密度管理図に基づく作成システム，山陰文化研究紀要23：55-69.
- 山本充男・安井鈞（1984）島根県スギ人工林収穫予想表2：林分密度管理図に基づく作成システム，山陰文化研究紀要24：41-53.
- 山本充男・安井鈞（1985）林分密度管理図に基づく島根県ヒノキ人工林収穫表，山陰地域研究1：1-20.