 論文

相対化の手法によるシステム収穫表の作成*

山 本 博 一**

1. システムの概要

近年、人工林施業の基本的方向として、弱度な間伐を繰り返しながら残存木の付加価値を高める長伐期施業をめざす傾向が強くなってきている。しかしながら、従来の収穫表では施業方法が固定化されており、特定の施業を行なった時の林分平均値の情報しか提供できなかった。いま求められている収穫表とは、様々な施業方法に対応でき、将来の末口直径別の丸太本数など具体的な情報を提供することのできるものでなければならない。このような機能を備えた収穫表が「システム収穫表」とよばれている。

本システムはこのようなシステム収穫表機能を備え、同齢単純林分の施業計画を策定するために、林分ごとに施業方法を決定し、収穫量を予測することを目的として開発された意思決定支援システムである。以下にその特徴点を述べる。

- 1) 本システム是对話型で、初期入力値として樹種・直径階別本数・平均樹高・林齢が与えられれば、計画担当者は各分期ごとの林分構造を確認しながら伐採計画を定めることができる。
- 2) 相対幹距に基づく各直径階への成長量配分モデルを用いることによって、従来の平均値レベルの収穫表とは異なり、単木レベルの直径分布の変化を表現することができ、上層間伐や下層間伐だけでなく、特定の直径階からの抜伐りという間伐方法にも対応することが可能となった。
- 3) 平均樹高や断面積合計の成長を相対化することによって、個別の林分ごとに収穫表を作成することができる。
- 4) 相対幹曲線式を用いて収穫される丸太の材長・末口径別の本数・材積を分期ごとに表示することができる。
- 5) 地理情報システムに情報を提供し、長期的な施業計画の策定に利用することができる。

なお、本システムは、東京大学秩父演習林の人工林施業計画を念頭において構築にあたったため、基礎となるデータは当演習林内の固定成長試験地のものを用いた。

2. システム構築にあたっての考え方

本システムはできる限り単純なモデルを用い、利用者がその内容を理解した上で施業計画を策

 * Hirokazu YAMAMOTO :The construction of a system yield table with a dimensionless method

 ** 東京大学農学部附属北海道演習林 Univ.Forest in Hokkaido,Fac.of Agric.,Univ., of Tokyo,Furano
Hokkaido 079-15

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

定できるようにすることを念頭におき、次の6つの基本的な考え方にに基づき構築されている。

第1点は、各林分の平均樹高の増加する曲線の形が樹種ごとに共通であるとしたことである。基準となる林分を定め、40年生時における平均樹高の値を1とする相対樹高成長曲線を決定する(図-1)。すると、他の林分でも現時点の平均樹高の値をもとに、基準となる成長曲線を補正

図-1 相対樹高成長曲線

することによって、林分ごとに将来の樹高成長を予測することができる³⁾。したがって、地位という概念が従来の段階的なものから連続的なものになる。

第2点は、各林分の胸高断面積合計も樹高と同様に増加する曲線の形が樹種ごとに共通であるとしたことである。基準となる林分の40年生時における胸高断面積合計の値を1とする相対断面積成長曲線を決定することによって、他の林分の現時点の胸高断面積合計の値をもとに、基準となる成長曲線を補正し、林分ごとに将来の断面積合計の成長を予測することができる。したがって、立木度という概念が従来の段階的なものから連続的なものになる。

第3点は、相対樹高成長曲線と相対断面積成長曲線から林分全体の総成長量が与えられたときに、各直径階への成長量の配分パターンは相対幹距によって決定されるとしたことである。相対幹距¹⁾とは林分の平均樹高に対する平均樹幹距離の比であり、林分密度の尺度の一つである。この値が高い時には各林木に十分な生育空間が与えられており、低いときにはきびしい競争関係のもとにおかれていることを意味する。したがって、相対幹距が大きいときには上層から下層まで各直径階の林木に成長量が配分されるのに対して、小さいときには下層木への成長量の配分量が小さくなる。そこで上位木の断面積成長率に対する下位木の成長率の比を決定する曲線を相対幹距の関数として定めることにする。

図-2は、各測定期間の期首における上位20%の林木の成長率を100として、他の各20%の直径順位階層の成長率を相対的に示したものである。相対幹距の値が小さくなるにしたがって下位木の成長が悪くなって行くことがわかる。そこで、樹種ごとに個体間競争の始まる相対幹距の値

図-2 相対幹距と相対成長指数の関係

と枯死の発生する相対幹距の値をあらかじめ決めておき、林分の相対幹距の値とこの両者との関係から直径上位木と下位木の断面積成長率の比を決定することにする。相対幹距の値が個体間競争の始まる相対幹距の値と等しいときには、直径階の最上位から最下位まで断面積成長率は等しいと考える。相対幹距の値がこれより大きいときには直径下位木の方が成長率が高くなり、逆に小さいときには、直径下位木の成長率は低下するものとする。そして、この関係は地位に関わらず安定したものであると考える。

第4点は、林分全体の立木本数は相対幹距の値と林分の平均樹高によって決定されとしたことである。すなわち、枯死の発生する相対幹距の値を樹種ごとに予め定めておき、相対幹距がこの値を下回るときには平均樹高に応じて立木本数の調整が行なわれる。したがって、間伐の遅れた林分ではこの関係に基づき自己間引きによる本数減少が起ることになる。

第5点は、各林木の直径と樹高の関係を示す樹高曲線式を、各林分の平均樹高と平均胸高直径の値を1とする相対樹高曲線式によって表すことである(図-3)。そして、この相対樹高曲線式の係数は林齢の関数として与えられる²⁾。この関係を用いて直径分布を樹高分布に変換する。

第6点は、各林木の樹幹形を示す幹曲線式を、樹高および樹高の1/10の高さの直径を1とする相対幹曲線式⁴⁾によって表すことである(図-4)。そして、この相対幹曲線式の係数は林齢の関数として与えられる。胸高直径と樹高と相対幹曲線式が与えられれば、その回転体として幹材積を計算することができ、任意の地上高における直径を計算することができる。したがって、採材基準が与えられればその林分から産出される直径級別の丸太の本数・材積を計算することができる³⁾。

以上のとおり、本システムは相対樹高成長曲線、相対断面積成長曲線、相対幹距、相対樹高曲線、相対幹曲線を用い、徹底して相対化の手法を取入れることによって、成長試験地の精密な測

図-3 相対樹高曲線

図-4 相対幹曲線

定結果を一般林分に普遍化することを可能にした。さらに、従来の固定化された収穫表を各林分の立地条件によって変化させ、平均値ではなく直径階別の本数で林分構造を表示することにより、施業方法の変化にも柔軟に対応できる個別の収穫表を作成するようにした。このことによって、林分ごとにいくつかの施業方法をシミュレーションによって対比させることができ、いま、最も適切な施業方法が何であるかを知ることができる。また、この情報は、管理対象森林全体にわたって集計され、生産量の調整のため資料としても利用することができる。

3. 資料および方法

それでは、図-5にしたがって以下に本システムの具体的な流れを説明する。

図-5 システム収穫表のフローチャート

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

1) 初期値の入力

本システムでは、初期入力値として直径階別本数・林分平均樹高・林齢・樹種を必要とする。このため林分ごとに標準地を設け、これらの情報を収集する。

2) 相対幹距の計算

直径階別本数から得られるha当り本数(N)と林分平均樹高(H)から、期首における相対幹距(S_r)を次式によって計算する。

$$S_r = 10000 / (H \cdot \sqrt{N}) \quad (1)$$

3) 樹高曲線の決定

林分の平均樹高と平均胸高直径の値を1とする相対樹高曲線を次のように定めることによって、直径階別の樹高を計算することができる。なお、この式の係数は南雲ら²⁾による数値を用いた。

$$h/H = (d/D)^{0.5594 - 0.00178 \cdot t} \quad (2)$$

ただし、 H =平均樹高、 D =平均胸高直径、 t =林齢

h =樹高、 d =胸高直径

4) 施業方法の決定

計画担当者は期首における直径分布と相対幹距の値から、伐採の有無を含めて上層間伐、全層間伐、下層間伐、特定の直径階からの間伐および皆伐などの施業方法を選択し、間伐率を決定する。このときの間伐率は本数比であり、上層間伐では直径上位木から順に、下層間伐では下位木から順に伐採される。また、特定の直径階からの間伐では任意の直径階から任意の本数だけ間伐することができる。

5) 相対幹距の再計算

4) で決定した施業後の相対幹距を計算するために、残された林分の直径階別本数をもとに、3) で定めた相対樹高曲線式から直径階別の樹高を計算して、林分の平均樹高を再度求め、施業後のha当り本数(N)を(1)に与えて、相対幹距(S_r)を再計算する。

6) 胸高断面積成長量配分パターンの決定

まず、樹種ごとに個体間競争の始まる相対幹距の値(S_{rt})と枯死の発生する相対幹距の値(S_{rb})をあらかじめ定めておく。そして、最上位の直径階の林木の断面積成長率を E_t とおき、最下位の直径階の林木の断面積成長率(E_b)を次式により計算する。

$$E_B = E_T \times (S_r - S_{rB}) / (S_{rT} - S_{rB}) \quad (3)$$

この式から、施業後の相対幹距の値が S_{rT} より大きいときには直径下位木の方が高い成長率を示すことになるが、あまり大きな成長率は考えられないので、最下位の断面積成長率(E_B)は最上位の断面積成長率(E_T)の1.5倍を上限とする。

本システムにおける S_{rT} と S_{rB} は、山本ら⁶⁾による秩父演習林の成長試験地の測定記録の解析結果から表-1のとおり定めた。

表-1 枯死および個体間競争に関わる相対幹距の値

	S_{rT}	S_{rB}
スギ	18.0	10.0
ヒノキ	18.0	13.0
サワラ	15.0	11.5
カラマツ	20.0	15.2

次に、最上位と最下位の直径階の林木の断面積成長率を補完するために、各直径順位ごとに断面積成長量の累計が胸高直径に樹種の特性値(SP)をべき乗した値の逆数の累計に比例するようにした。本システムでは秩父演習林の成長試験地の測定記録の解析結果⁷⁾から樹種の特性値(SP)をつぎのとおり定めた。

スギ：1.5, ヒノキ：2.0, サワラ：1.2, カラマツ：0.5

このように特性値を定めることによって、樹種による成長量配分の特性を表現することができる。例えば、耐陰性の高いヒノキでは直径中位木への配分率が高まり、中位木の成長率を上位木の値に近づけることができる。逆に陽樹のカラマツでは直径中位木の成長率は下位木の値に近づくことになる。

7) 枯損木本数の決定

5) で再計算した相対幹距(S_r)の値が、前述した枯死の発生する相対幹距の値(S_{rB})を下回るときには、林分の自己間引きによる枯損が発生するものとする。(1)式に、 S_{rB} と平均樹高(H)を与えることによりえられる生存可能な本数と現実のha当り本数(N)との差が枯損木本数となる。このとき、下位の直径階ほど枯損の確率が高いものとし、最下位の直径階では枯損確率を95%とする。以下、直径階が2cm上がるごとに枯損確率は5%ずつ減少し、各直径階からの枯損木の総数が先に計算した値に達するまで繰り返すものとする。

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

8) 胸高断面積成長量の計算

前述したように、本システムでは胸高断面積合計(G)の成長パターンを基準化し、次のような Mitscherlich 式によって林齢(t)の関数として表現することにする。

$$G = M(1 - L \cdot \exp(-k \cdot t)) \quad (4)$$

このとき、 G の値は林齢40年生時における値を1とした相対値で表すことになる。

Mitscherlich 式の係数の値は山本ら⁶⁾による秩父演習林成長試験地の測定記録の分析結果から、表-2のとおり定めた。

表-2 相対断面積成長曲線式のパラメータ

	M	L	k
スギ	1.798	1.1362	0.0235
ヒノキ	2.324	1.1704	0.0210
サワラ	2.056	1.4360	0.0257
カラマツ	5.150	0.9611	0.0044

ただし、間伐もしくは枯損によって胸高断面積合計に変動のあった場合は、間伐木および枯損木の断面積を現在の断面積合計に上積みし、この値をもとに期首と期末の断面積合計を求め、その間の成長量 ΔG を計算する。

9) 直径階別断面積成長量の計算

6) で定めた成長量配分パターンと、8) で得られた林分全体の胸高断面積合計の成長量 ΔG から、直径階別の断面積成長量を計算することができる。すなわち、最上位の直径階の林木の断面積成長率の初期値 E_t を補正して、胸高断面積合計の成長量が ΔG となるように直径階別の断面積成長率を決定する。さらに、これに各直径階の胸高断面積合計を乗ずることによって、直径階別断面積成長量が得られる。

10) 期末の直径分布の決定

期間中の直径階別断面積成長量から直径成長量が得られる。この値をもとに直径遷移確率を計算し、期首の直径階別本数を期末の直径階別本数に配分することができる。例えば、20cmの直径階の期首本数が50本で断面積成長量が1,544cm²とすると1本当りの断面積成長量は30.88cm²となり、期末の胸高直径は20.96cmで、この間の直径成長量の平均は0.96cmとなる。この場合、2cm

の直径階の0.96cm分，すなわち，50本のうち $0.96/2=48\%$ にあたる24本が一つ上の22cmの直径階に進階し，残りの26本はもとの20cmの直径階に留まるものとする。このようにして期末の直径別本数を決定することができる。

11) 期末における平均樹高の計算

前述したように，本システムでは林分平均樹高(H)の成長パターンを基準化し，次のような Mitscherlich 式によって林齢(t)の関数として表現することにする。

$$H=M(1-L\cdot\exp(-k\cdot t)) \quad (5)$$

このとき H の値は林齢40年生時における値を1とした相対値で表すことにする。Mitscherlich 式の係数の値は龍原ら⁵⁾による秩父演習林樹幹解析資料の分析結果から表-3のとおり定めた。

表-3 相対樹高成長曲線式のパラメータ

	M	L	k
スギ	1.72	1.089	0.0239
ヒノキ	1.77	1.131	0.0239
サワラ	1.67	1.057	0.0240
カラマツ	1.36	1.166	0.0370

ただし，間伐もしくは枯損によって平均樹高に変動のある場合は，その都度，間伐木および枯損木を除いて平均樹高を再計算し，この値をもとに期末の平均樹高を計算する。

12) 相対幹形による材積の計算

本システムでは林木の樹幹形を3次の相対幹曲線式を用いて表すことにする。

$$y=ax+bx^2+cx^3 \quad (6)$$

ただし， x ：樹高の1/10の高さの直径を1とする相対直径

y ：樹高を1とする相対樹高（梢端が0，地ぎわが1）

山本ら⁸⁾による秩父演習林樹幹解析資料の分析結果から，この3次式の係数 a ， b ， c は林齢とともに変化し，林齢の増加に伴い相対幹形が完形（細りの程度がゆるやか）になることが知られ

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

ている。そこで、相対幹曲線の係数をつぎのように林齢の関数で表すことにした。

$$\begin{aligned}\text{スギ・サワラ} \quad a &= 0.1 + 2.9 \cdot \{(t-10)/100\}^{0.3} \\ b &= 1 - 5.0 \cdot \{(t-10)/100\}^{0.5} \\ c &= (1 - 0.9 \cdot a - 0.81 \cdot b) / 0.729\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ヒノキ・カラマツ} \quad a &= 0.2 + 2.3 \cdot \{(t-10)/100\}^{0.25} \\ b &= 1 - 3.5 \cdot \{(t-10)/100\}^{0.4} \\ c &= (1 - 0.9 \cdot a - 0.81 \cdot b) / 0.729\end{aligned}$$

この相対幹曲線式に胸高の相対高(H_{bh})を与え得られる相対径(D_{bh})で、胸高直径(dbh)を割ると、地上高が樹高の1/10の位置の基準直径($D_{0.9}$)が得られる。

$$\begin{aligned}D_{0.9} &= dbh / D_{bh} \\ &= dbh / (a \cdot H_{bh} + b \cdot H_{bh}^2 + c \cdot H_{bh}^3)\end{aligned} \quad (7)$$

また、相対幹曲線式の回転体の体積（相対材積 θ ）は次式によって計算される。

$$\begin{aligned}\theta &= \pi \int_0^1 (ax + bx^2 + cx^3)^2 dx \\ &= \pi \{a^2/3 + a \cdot b/2 + (b^2 + 2 \cdot a \cdot c)/5 + b \cdot c/3 + c^2/7\} \quad (8)\end{aligned}$$

したがって、林木の立木材積(V)は相対材積 θ を高き方向に樹高(H)倍、直径方向に基準直径($D_{0.9}$)倍に引き伸ばすことによって得られる。

$$V = \theta \cdot H \cdot D_{0.9}^2 \quad (9)$$

13) 最適採材手法による長径級別丸太本数および材積の計算

12) で得られた幹曲線式を用いて任意の地上高における直径を求め、4) で決定された施業方法の結果生産される長径級別丸太本数および材積を計算する。そのためには、あらかじめ採材基準を定めておく必要がある。本システムでは秩父地方の実態に基づき次のような採材基準を定めた。

- ① 2 番丸太までは、4 m材の採材を優先させる。
- ② 4 m材の末口直径が14cm以下になるようであれば3 m材にする。
- ③ 3 m材の末口直径が10cm以下になるようであれば2 m材にする。

- ④ 2 m材の最小末口直径は8 cmとし、それ以下の材は利用しない。
- ⑤ 地上高が樹高の7/10以上の部分の梢端材は利用しない。
- ⑥ 採材の際の延べ寸として30 cmを見込む。
- ⑦ 皮内直径を得るため、樹皮厚率として外部直径の5 %を見込む。
- ⑧ 最小直径を得るため、偏倚率として10 %を見込む。

なお、丸太材積の計算は日本農林規格にならない末口自乗法によることとする。

4. 結果および考察

これまで述べてきた方法により計算されるシミュレーション結果の一例を示す。この例は、スギの29年生林分をモデルにして、34年生から10年おきに様々な伐採方法を試みたものである。当初29年生の時点では相対幹距の値は14.6 %であり、枯損木発生基準の10 %を上回っているため、枯損は起こらず1,596本/haの立木本数は期末の34年生まで維持される。34年生（図-6）では本数比25 %の下層間伐が実行され、6 ~ 20 cmの直径階から66.87 m³が伐採される。このとき得られる丸太材積は48.75 m³である。下層間伐であるため4 mの柱材はわずかで、3 m材が28.14 m³と最も多く、本数では2 mと3 m材が多くなっている。直径分布の右上には直径順位ごとの成長率の変動が表示されている。この図では左に行くほど順位が低くなり、最上位木に対する成長率の比率が低くなることを示している。右端の最上位木の点は固定しており、相対幹距の値に応じて下位木への成長量の配分パターンが変化する。44年生（図-7）では特定の直径階からの抜き切りの例が示されている。ここでは、28 cmと30 cmの直径階だけから100本と120本を伐採している。その結果、1本の立木から2本ずつ、合計440本の4 m材が86.24 m³生産されている。本システムの特徴はこのような特定の直径から伐採するような場合においても、その後の成長予測に対応できる単木モデルを包含している点にある。54年生（図-8）では本数比15 %の上層間伐が実行され、40 ~ 52 cmの直径階から343.19 m³が伐採される。生産される丸太の大半は4 mおよび3 mの大丸太となる（図-9）。64年生（図-10）では本数比40 %の強度の全層間伐によって421.17 m³が伐採され、幅広い長径級にわたり326.0 m³の丸太が生産されている（図-11）。そして、最後の74年生時（図-12）には皆伐が実行されて773.74 m³が伐採され、3 mおよび4 m中径材を中心に586.93 m³の丸太が生産される（図-13）。これらの一連の施業の結果をとりまとめたものが表-4である。この間の丸太の立木材積からの歩止まりは73 ~ 78 %であった。

ここまでのシミュレーションは1つの林分について行なったものであるが、次の段階として、複数林分について、一定の伐採基準を設けて今後の主間伐量を試算することができる。

このように、本システムでは各林分の今後の施業をシミュレートしながら、途中の林分の状況を詳細に表示することができ、施業計画担当者は、これを見ながら各林分にとって最も適切な施業方法を設定することができる。そして、計画対象林分の全体にわたり各分期ごとの伐採量および長径級別の丸太材積を集計し、これに木材価格の情報を加味することにより将来の収入額を予

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

503a			スギ			34年生					
2cm	0 →	0	4cm	0 →	0	6cm	11 →	0	8cm	12 →	0
10cm	27 →	0	12cm	37 →	0	14cm	34 →	0	16cm	77 →	0
18cm	115 →	0	20cm	139 →	53	22cm	180 →	180	24cm	212 →	212
26cm	172 →	172	28cm	237 →	237	30cm	145 →	145	32cm	75 →	75
34cm	47 →	47	36cm	42 →	42	38cm	26 →	26	40cm	8 →	8
42cm	0 →	0	44cm	0 →	0	46cm	0 →	0	48cm	0 →	0
50cm	0 →	0	52cm	0 →	0	54cm	0 →	0	56cm	0 →	0
58cm	0 →	0	60cm	0 →	0	62cm	0 →	0	64cm	0 →	0
66cm	0 →	0	68cm	0 →	0	70cm	0 →	0			

スギ 503A 34年生 N=1197 H=20.4 G= 70.60
 相対幹距= 14.16% 相対幹距18%の本数は 741

丸太長径級別表				503A	スギ	34年生			
末口	長さ	本数	材積		15	30	45	60	
16	4	86	8.84	*****					
小計	4m	86	8.84						
12	3	225	9.74	*****					
14	3	163	9.59	*****					
16	3	115	8.81	*****					
小計	3m	503	28.14						
10	2	299	5.98	***					
12	2	201	5.79	***					
小計	2m	500	11.77						
TOTAL		1,089	48.75						

図-6 34年生時の施業結果

スギ		44年生									
2cm	0 →	0	4cm	0 →	0	6cm	0 →	0	8cm	0 →	0
10cm	0 →	0	12cm	0 →	0	14cm	0 →	0	16cm	0 →	0
18cm	0 →	0	20cm	22 →	22	22cm	81 →	81	24cm	137 →	137
26cm	156 →	156	28cm	154 →	54	30cm	153 →	33	32cm	174 →	174
34cm	122 →	122	36cm	73 →	73	38cm	41 →	41	40cm	37 →	37
42cm	27 →	27	44cm	14 →	14	46cm	5 →	5	48cm	1 →	1
50cm	0 →	0	52cm	0 →	0	54cm	0 →	0	56cm	0 →	0
58cm	0 →	0	60cm	0 →	0	62cm	0 →	0	64cm	0 →	0
66cm	0 →	0	68cm	0 →	0	70cm	0 →	0			

スギ 503A 44年生 N= 977 H=24.4 G= 72.57
 相対幹距= 13.10% 相対幹距18%の本数は 517

丸太長径級別表				503A	スギ	44年生			
末口	長さ	本数	材積			15	30	45	60
20	4	100	16.00	*****					
22	4	220	42.59	*****					
24	4	120	27.65	*****					
小計	4m	440	86.24						
14	3	100	5.88	***					
16	3	120	9.22	*****					
18	3	100	9.72	*****					
20	3	120	14.40	*****					
小計	3m	440	39.22						
TOTAL		880	125.46						

図－7 44年生時の施業結果

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

スギ		54年生									
2cm	0 →	0	4cm	0 →	0	6cm	0 →	0	8cm	0 →	0
10cm	0 →	0	12cm	0 →	0	14cm	0 →	0	16cm	0 →	0
18cm	0 →	0	20cm	15 →	15	22cm	56 →	56	24cm	96 →	96
26cm	117 →	117	28cm	98 →	98	30cm	60 →	60	32cm	51 →	51
34cm	89 →	89	36cm	123 →	123	38cm	92 →	92	40cm	60 →	33
42cm	37 →	0	44cm	36 →	0	46cm	24 →	0	48cm	14 →	0
50cm	6 →	0	52cm	2 →	0	54cm	0 →	0	56cm	0 →	0
58cm	0 →	0	60cm	0 →	0	62cm	0 →	0	64cm	0 →	0
66cm	0 →	0	68cm	0 →	0	70cm	0 →	0			

スギ 503A 54年生 N= 831 H=26.7 G= 62.79
 相対幹距= 13.00% 相対幹距18%の本数は 433

図-8 54年生時の施業結果（立木）

想することが可能となる。施業計画担当者は集計結果を見て各分期間の伐採量を調整する必要があると判断すれば、再度各林分の施業方法を見直すことができる。さらに、各林分の位置、形、大きさをディスプレイやプロッターに表示できる地理情報システム（GIS）に情報を提供することによって、各分期間ごとに間伐実行の必要な林分、作業道開設の必要な林分を見ながら、様々な状況を設定して意思決定を下すことができる。

ここで、本システムの問題点についていくつか触れておくことにする。まず、モデルの普遍性の問題であるが、本システムにおいて用いたパラメータは秩父演習林の測定結果をもとに定めたものであるが、相対化されたものであるため、基礎的な情報の得られない他の地域においてこの

丸太長径級別表				503A	スギ	54年生			
末口	長さ	本数	材積			15	30	45	60
30	4	27	9.59	*****					
32	4	64	26.06	*****					
34	4	97	44.73	*****					
36	4	50	25.74	*****					
38	4	31	17.70	*****					
40	4	17	10.70	*****					
42	4	9	6.09	****					
44	4	0	0.36						
46	4	0	0.04						
小計	4m	293	141.00						
20	3	36	4.26	**					
22	3	51	7.38	****					
24	3	87	14.97	*****					
26	3	96	19.55	*****					
28	3	77	18.05	*****					
30	3	119	32.26	*****					
32	3	31	9.55	*****					
34	3	16	5.66	***					
36	3	9	3.54	**					
38	3	0	0.20						
40	3	0	0.02						
小計	3m	523	115.45						
18	2	27	1.73	*					
20	2	37	2.96	*					
小計	2m	64	4.68						
TOTAL	879	261.14							

図－9 54年生時の施業結果（丸太）

数値を用いたとしても大きな誤りを犯すことにはならないと考えられる。したがって、対象となる林分の直径階別本数や平均樹高を測定することができるならば、モデルの普遍性は保たれるものと思われる。

次に、パラメータの客観性の問題について述べる。本システムにおいて用いたパラメータのうち、個体間競争の始まる相対幹距の値(S_{rt})、枯死の発生する相対幹距の値(S_{rb})、成長量配分の樹種の特性値(SP)、相対幹曲線式の係数a, b, cは秩父演習林の測定結果を総合的に勘案して定めたものであり、厳密な意味では客観性に問題があるといえる。しかしながら、26の林分に適用して妥当な結果が得られるように調整を加えたものであるから、信頼度は高いといえる。

従来の収穫表では、このように林分ごとに施業方法を変えながら実行される場合、これを詳細に表現することはできなかった。本システムのごとく柔軟な回答を引き出すことができるならば、これをもとに施業計画の最適解を見いだそうとするときに、これに対応できる新たな方法を開発しなければならなくなるであろう。例えば、線形計画法を用いて最適解を見いだそうとするとき

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

スギ		64年生									
2cm	0 →	0	4cm	0 →	0	6cm	0 →	0	8cm	0 →	0
10cm	0 →	0	12cm	0 →	0	14cm	0 →	0	16cm	0 →	0
18cm	0 →	0	20cm	11 →	6	22cm	41 →	24	24cm	72 →	43
26cm	91 →	54	28cm	91 →	54	30cm	76 →	46	32cm	58 →	35
34cm	54 →	32	36cm	69 →	41	38cm	88 →	53	40cm	92 →	55
42cm	65 →	39	44cm	24 →	15	46cm	0 →	0	48cm	0 →	0
50cm	0 →	0	52cm	0 →	0	54cm	0 →	0	56cm	0 →	0
58cm	0 →	0	60cm	0 →	0	62cm	0 →	0	64cm	0 →	0
66cm	0 →	0	68cm	0 →	0	70cm	0 →	0			

スギ 503A 64年生 N= 498 H=29.0 G= 43.02
 相対幹距= 15.46% 相対幹距18%の本数は 367

図-10 64年生時の施業結果（立木）

は、これまで各林分の収穫表が固定化されていたため、分期ごとの単位面積当りの収穫量として一定の値を与えておけば解が得られたが、このような柔軟な収穫表には従来の収穫規整法では適応できない。したがって、新たなシステム収穫法の開発は、収穫規整法の開発という新たな問題を提起することになるであろう。

丸太長径級別表				503A	スギ	64年生			
末口	長さ	本数	材積		15	30	45	60	
16	4	21	2.10	*					
18	4	45	5.84	***					
20	4	101	16.20	*****					
22	4	67	12.90	*****					
24	4	90	20.73	*****					
26	4	45	12.10	*****					
28	4	84	26.49	*****					
30	4	64	23.10	*****					
32	4	98	40.14	*****					
34	4	36	16.50	*****					
36	4	10	5.02	***					
小計	4m	660	181.12						
12	3	21	0.89						
14	3	86	5.03	***					
16	3	136	10.44	*****					
18	3	147	14.27	*****					
20	3	154	18.50	*****					
22	3	143	20.82	*****					
24	3	120	20.65	*****					
26	3	109	22.15	*****					
28	3	72	17.00	*****					
30	3	26	7.02	****					
32	3	10	2.97	*					
小計	3m	1,023	139.74						
12	2	29	0.83						
14	2	36	1.42						
16	2	22	1.10						
18	2	28	1.79	*					
小計	2m	114	5.13						
TOTAL	1,797	326.00							

図-11 64年生時の施業結果（丸太）

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

スギ			74年生								
2cm	0 →	0	4cm	0 →	0	6cm	0 →	0	8cm	0 →	0
10cm	0 →	0	12cm	0 →	0	14cm	0 →	0	16cm	0 →	0
18cm	0 →	0	20cm	3 →	0	22cm	15 →	0	24cm	29 →	0
26cm	41 →	0	28cm	47 →	0	30cm	46 →	0	32cm	41 →	0
34cm	34 →	0	36cm	31 →	0	38cm	35 →	0	40cm	42 →	0
42cm	48 →	0	44cm	45 →	0	46cm	31 →	0	48cm	10 →	0
50cm	1 →	0	52cm	0 →	0	54cm	0 →	0	56cm	0 →	0
58cm	0 →	0	60cm	0 →	0	62cm	0 →	0	64cm	0 →	0
66cm	0 →	0	68cm	0 →	0	70cm	0 →	0			

スギ 503A 74年生 N= 0 H=30.9 G= 0.00
 相対幹距= 0.00% 相対幹距18%の本数は 324

図-12 74年生時の施業結果 (立木)

丸太長径級別表				503A	スギ	74年生			
末口	長さ	本数	材積		15	30	45	60	
16	4	18	1.85	*					
18	4	44	5.68	***					
20	4	118	18.83	*****					
22	4	88	16.97	*****					
24	4	134	30.93	*****					
26	4	106	28.58	*****					
28	4	69	21.49	*****					
30	4	73	26.32	*****					
32	4	124	50.87	*****					
34	4	123	56.84	*****					
36	4	55	28.57	*****					
38	4	31	18.03	*****					
40	4	11	6.98	****					
小計	4m	993	311.94						
12	3	3	0.15						
14	3	150	8.84	*****					
16	3	120	9.25	*****					
18	3	207	20.07	*****					
20	3	276	33.11	*****					
22	3	157	22.76	*****					
24	3	218	37.63	*****					
26	3	210	42.65	*****					
28	3	121	28.42	*****					
30	3	134	36.13	*****					
32	3	86	26.30	*****					
34	3	11	3.78	**					
36	3	1	0.27						
小計	3m	1,693	269.37						
10	2	3	0.07						
12	2	44	1.26						
16	2	41	2.09	*					
18	2	34	2.20	*					
小計	2m	122	5.62						
TOTAL		2,809	586.93						

図-13 74年生時の施業結果（丸太）

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

表-4 施業結果のとりまとめ表

分期	林齢	本数	断面積 m ²	樹高 m	直径 cm	材積 m ³	成長量 m ³	間伐本数	間伐材積 m ³
1	29	1596	68.66	17.10	22.68	581.28	20.04	0	0.00
2	34	1197	70.60	20.41	27.05	702.04	37.53	399	66.87
3	39	1197	79.07	22.56	28.60	875.21	34.63	0	0.00
4	44	977	72.57	24.43	30.17	886.22	36.38	220	170.91
5	49	977	78.70	26.12	31.35	1030.50	28.86	0	0.00
6	54	831	62.79	26.70	30.52	842.10	30.96	147	343.19
7	59	831	66.72	27.99	31.41	937.99	19.18	0	0.00
8	64	498	43.02	28.98	32.50	631.75	22.98	332	421.17
9	69	498	45.68	29.99	33.47	691.94	12.04	0	0.00
10	74	0	0.00	30.88	—	0.00	16.36	498	773.74

丸太材積(m)			4 m材			3 m材		2 m材	
分期	林齢	計	30cm—	20—28cm	14—18cm	14cm—	—12cm	14cm—	—12cm
1	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	34	48.75	0.00	0.00	8.84	18.40	9.74	0.00	11.77
3	39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	44	125.46	0.00	86.24	0.00	39.22	0.00	0.00	0.00
5	49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	54	261.14	141.00	0.00	0.00	115.45	0.00	4.68	0.00
7	59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	64	326.00	84.75	88.43	7.94	138.85	0.89	4.31	0.83
9	69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	74	586.93	187.61	116.80	7.53	269.22	0.15	4.29	1.33

参考文献

- 1) 南雲秀次郎・箕輪光博：測樹学. 243pp, 地球社, 東京, 1990
- 2) 南雲秀次郎・白石則彦・田中万里子：スギ林分収穫表調製法のシステム化に関する研究—東京大学千葉演習林を対象として—. 東大演報**71**：269～330, 1981
- 3) 南雲秀次郎・田中万里子：相対幹曲線式を用いた材積表の調製. 日林誌**63**：278～286, 1981
- 4) 大隅真一：幹形に関する研究（1）相対幹形について. 日林誌**41**：471～479, 1959
- 5) 龍原哲・南雲秀次郎・山本博一：スギ人工林生長資料に対する相対生長曲線の適用. **38**回日林関東支論：27～30, 1986
- 6) 山本博一・伊藤幸也・大畑茂・佐々木和男・大村和也：東京大学秩父演習林のスギ・ヒノキ・サワラ・カラマツの成長試験地における間伐効果の解析. 東大演報**76**：287～329, 1987
- 7) 山本博一・大村和也：間伐効果の樹種による相違について. **37**回日林関東支論：23～26, 1986
- 8) 山本博一・龍原哲：東京大学秩父演習林の樹幹解析資料による樹幹形の分析. 東京演習林**25**：205～241, 1987