

システム収穫表 穂の国『創造』の開発

稲田 充 男

はじめに

林業は生産に長い期間を要するものである。したがって、林業経営を行うにあたっては諸条件を十分に考慮した長期計画が必要となる。森林全体の伐採計画は減反率法や最適化手法などにより、分期ごとの伐採面積・保続面積を計算して作成される。一方、個々の林分の施業計画については、多くの場合、その地方の既存の収穫表を参考にして立てられてきた。収穫表とは、ある地方の林業上重要な樹種について地位別に、その地方の標準的な施業体系に基づいて施業を行った場合の林分構成因子（平均樹高、平均胸高直径、haあたり本数、haあたり幹材積など）を林齢に対応させて表わした表である。よって、その地方の標準的な施業体系と異なった施業を行う場合には、既存の収穫表はあまり参考にはならない。新たに資料を集め、それにみあった収穫表を作成しなおす必要がある。そこで、新たな施業体系に対する施業指針の編成のための道具として、システム収穫表が開発された。このシステム収穫表について白石（2005）は次のように説明している。

システム収穫表とは、「さまざまな状態にある（現実）林分について、さまざまな施業がなされた場合に対応して、将来の成長変化を予測することのできる仕組みを持ったコンピュータプログラム」の総称である。より柔軟で、有用な情報を提供する成長予測システムを開発するため、木平勇吉氏を中心として森林成長予測の研究者が集まり、この新語を造り出し、平成2年から5年間、科研費プロジェクトが実施された。システム収穫表では具体的に以下に示す5つの基本要件を強化することとしている。

- ① 予測すべき施業の内容が自由である
- ② 対象森林の多様な初期状態に対応できる
- ③ 得られる成長予測情報が多種詳細である
- ④ 利用者にとって使いやすいものである
- ⑤ 予測に用いられている成長モデルが論理的である

穂の国『創造』はこのシステム収穫表のひとつである。ただし、白石（2005）が掲げるすべての要件を満たしているわけではない。ただ、施業方針検討の際の煩雑な計算を軽減するために必要な最低限の機能は有しており、計画立案者の業務遂行に各方面で活用されている。

林分密度管理図に基づく収穫予測

穂の国『創造』は、密度管理という考え方を施業に対応づけ、林分密度管理図から施業計画を立案支援するシステムである。人工林を対象に、ある施業計画を実行すると得られるであろう収穫を従来の収穫表のような形式にとりまとめ、収穫予測表を作成するシステムである。収穫予測表とは樹種・適用区域ごとに、ある施業体系で施業された同齢単純林が健全な生育をした場合に生産すると予測されるhaあたりの主副林木の本数・幹材積・その他必要な諸因子の標準的数値を、林分密度管理図に基づいて地位と林齢に対応させ計算し示したものである。なお、収穫予測表は「収穫予想表」とも呼ばれることもあるが、システム収穫表が成長モデルに基づいて計算する各種情報を「予想」という言葉で表現するのは、微妙に意味合いが異なると考えられるので、ここでは収穫予測表に統一することにする。

林分密度管理図ではhaあたりの本数と上層樹高とからhaあたりの幹材積、平均胸高直径などの推定は可能であるが、森林施業のうえで重要な因子である林齢および地位を含んでいない。それゆえ、林齢と地位の因子を林分密度管理図上で直接的に対応させ評価することはできない。そこで、林齢および地位については、林分密度の影響が少ないと考えられている上層樹高の成長曲線を地位別に決定し、この地位別の上層樹高成長曲線を林分密度管理図と組み合わせることにより、林齢および地位を含む林分構成諸因子の評価を行おうとするものである。人工林収穫予測表は林分密度管理図をもとに作成するので、従来と異なった施業体系で施業を行う場合にも、これまでのように新たに資料を集めて作成しなおす必要はない。これにより、林業経営体のおかれている自然的・経済的諸条件を考慮して、適した施業計画を選定することができる。

穂の国『創造』は、MS-DOS版で開発したシステム「くにびき」を、その後のパソコン環境の変化に合わせて、Windows版に移植したものである。このシステムおよびシステムで用いる県別樹種別データは、できるだけ多くの方の利用に供したいと考え、ソフトウェアダウンロードサイトVectorに登録している。それぞれのライブラリ作品番号はPS360304およびPS361652である。

システムの概要とその構成要素

1. システムの概要

本システムのプログラム構成および各プログラムの役割、その処理の概要は次の通りである。

- メインメニュー
 - 基礎資料の作成
 - ◇ 調査地データの作成・編集
 - ◇ 地位別上層樹高曲線式の決定
 - ◇ 上層樹高一本数曲線式の決定
 - 施業体系の編成
 - 収穫予測表の作成
 - 林分材積表の作成
 - 補助プログラムの実行

メインメニュー：各処理プログラムの窓口である。

➤ 基礎資料の作成

- ◇ 調査地データの作成・編集：地位別の上層樹高成長曲線決定のための基礎資料を作成する。データの入力、データの吟味、管理図パラメータの入力よりなる。
 - ・データの入力：入力、表示、印刷、読み込み、保存、検索、修正、削除、ソートを行う。
 - ・データの吟味：資料に異常資料が含まれているかを吟味する。林齢、上層木平均樹高、haあたり本数、haあたり幹材積、haあたり胸高断面積合計、平均胸高直径、平均林分樹高の7項目についてそれぞれの相互関係を調べ、一般的傾向から特に離れた資料を指摘する。これには稲田・花田（1989）の提案する異常値検出システムを用いている。ただし、異常値としてデータを削除するかどうかは計算者の判断による。
 - ・管理図パラメータ入力：使用する林分密度管理図のパラメータファイルをつくる。ただし、このファイルはすべてテキストファイルであるので、このようなデータ入力作業はプログラムに頼らずに、使い慣れたエディタを用いて行った方が簡単かもしれない。このことは、上層樹高成長曲線用のデータ作成についても同様である。
- ◇ 地位別上層樹高曲線式の決定：上層樹高成長曲線式のあてはめ計算を行う。曲線式としてはlogistic式、GOMPERTZ式、MITSCHERLICH式の3式を準備している。各式へのあてはめ計算にはパラメトリック最小二乗法（ラックデュッシュェル、1982）であるシンプレックス法を用いている。最適曲線式として、残差平方和の最も小さいものを採用する。地位別上層樹高曲線式は稲田・新宮（1989）の提案する方法により計算する。計算結果はデータファイルに記録され収穫予測表作成の際用いられる。なお、シンプレックス法に対する初期値は不用である（山本・安井、1984）。

logistic式	$h = \frac{H}{1 + b \cdot \exp(-kt)}$
GOMPERTZ式	$h = H \cdot \exp[-b \cdot \exp(-kt)]$
MITSCHERLICH式	$h = H \cdot [1 - b \cdot \exp(-kt)]$

t : 林齢 (年)

h : 林齢 t における上層樹高 (m)

H : 上層樹高の上限値 (m)

b : 成長開始にかかわる定数

k : 成長速度定数

- ◇ 上層樹高一本数曲線式の決定：林分材積表の作成に際しては、上層樹高と ha あたり本数との関係を知る必要がある。上層樹高と ha あたり本数との関係を、上下に漸近線をもつシグモイド曲線と考え、GOMPERTZ曲線の変形したもの(稲田, 1991)をあてはめる。

$$N = N_0 - N_1 \cdot \exp[-\alpha \cdot \exp(-\beta h)]$$

N : ha あたり本数 (本/ha)

h : 上層樹高 (m)

N_0, N_1, α, β : 定数

- 施業体系の編成：人工林林分密度管理図に基づいて、現在の林分の状態と将来の目標林型とから、取量比数、形状高、間伐回数などの条件を与え、それらの条件を満たす間伐計画を計算する。作成に要する処理・計算内容は樹種、地域を問わず同じである。ただ、組み込まなければならない各種曲線式のパラメータの値が異なる。それらの値は実行時にデータファイルから読み込む。
- 収穫予測表の作成：人工林林分密度管理図に基づく予測表を作成する。作成に要する処理・計算内容は樹種、地域を問わず同じである。ただ、組み込まなければならない各種曲線式のパラメータの値が異なる。それらの値は実行時にデータファイルから読み込む。間伐計画は、間伐林齢-間伐率、上層樹高-間伐率、胸高直径-間伐率、取量比数-間伐率、取量比数の上限・下限、形状比の上限・下限の6種類から選択できる。
- 林分材積表の作成：現実林分での平均的な ha あたり本数と上述の林分密度管理図の各曲線、上層樹高成長曲線とを対応させ、幹材積、胸高断面積、平均胸高直径などを計算し示したものが、林分材積表である。人工林収穫予測表が密度管理図に基づいて施業計画を立て、その計画を実行することによって得られるであろう収穫を従来の収穫表の形式にまとめたものであるのに対して、林分材積表は現実林の平均的な施業に対応するもので、現実林分収穫予測表と言えるものである。

2. 上層樹高成長曲線

林分密度管理図は、 ha あたり本数と上層樹高とから ha あたり幹材積、平均胸高直径など

の推定ができる。しかし、森林施業で重要な因子である林齢と地位の因子は入っていない。そこで、林齢および地位の指標となるものが必要となる。

地位については只木(1969)が「樹高は一般に地位の指標として用いられ、林分の上層木平均樹高は立木密度の影響をうけないとされている。したがって、樹高を基準とすれば、その生育段階における立木密度を決める手がかりとして有効だろうし、こうした立木密度の決定によって、地位や林齢を加味した疎開の度合、ひいては間伐度合がわかるはずである。」と述べているように、樹高を用いることにより解決することができる。さらに、林齢については地位別の樹高成長曲線を決定することにより、これから地位および林齢を対応する樹高に置き換えることができる。

ここでいう樹高とは、林分樹高すなわち林分の平均樹高である。林分の平均樹高には次のようなものがある。

- a. 算術平均による樹高
- b. 胸高断面積を重みとして樹高を平均する方法
- c. 上層高：一般に大きい直径の順に一定本数の樹高を平均した樹高。
 - ① オランダにおいては樹高の高い順
 - ② イギリスでは最大木100本/acreの平均による。
 - ③ ヨーロッパ大陸では、国によってちがうが、普通40本/acreの平均による。
 - ④ HUMMELの方法：樹高を h_a あたり250本の優勢木から決める。
 - ⑤ BECKINGの方法：上層木平均樹高を林分内に多くとられた10m×10mの大きさの標準地のそれぞれの最大木の平均で決める。
- d. 優勢木と準優勢木の平均による方法。

aの方法は、わが国はじめ多くの国で用いられているが、ヨーロッパ諸国ではbの方法がより一般的のようである。しかし、a、bの方法は、間伐を行ったときに、その影響をうけるのでcの方法がよいとHUMMELによりいわれている。bの方法はアメリカでよく用いられている。(安藤, 1968, 只木, 1969)

以上のように、林分の平均樹高のとり方はいろいろあるが、林分の平均樹高としては上層高によるものが適当であると考えられる。これは、上層高が最も林分密度の影響を受けにくいと思われるからである。また、上層高については特にどの方法によらなければならないという根拠はないが、HUMMELの方法を採用する。ここでいう優勢木とは、胸高直径でもいいが単に樹高の高い木のことであり、これは、下層間伐をする限りでは(上位250本を伐らない場合)上層樹高に影響を与えず、管理図の等樹高線の考え方に一致するからである。

3. 林分密度管理図

林分密度管理図とは、希望の大きさの材をできるだけ多く収穫するための最適密度を決めるために、あらゆる密度や生育段階に対する幹材積量を表現した図で、間伐の経路を決めた

り、収穫予測を立てたりする上で役立つ。これは、密度と林木の成長の間の基本的ないくつかの法則性をひとつの成長予測図にとりまとめたものである。つまり、林分密度管理図とは等平均樹高線、自然枯死線、最多密度線、等取量比数線に平均樹高とhaあたり本数とから平均直径を知るために用いる等平均直径線をあわせて一枚の両対数グラフに集約し、各数値相互の関係が一目で理解できるように作図されたものである。

- ・等平均樹高曲線：上層樹高とhaあたり本数に対するhaあたりの幹材積の関係を図示した曲線である。上層樹高とhaあたり本数とから当該林分の幹材積を求めることができる。
- ・最多密度曲線：林木が成長して立木密度が最大に達した段階のhaあたり本数と幹材積との関係を表す曲線で、上層樹高が同じである場合のhaあたり幹材積の限界を示す。
- ・等取量比数曲線：ある林分のhaあたり幹材積が、最多密度曲線上のその林分と同じ上層樹高の場合のhaあたり幹材積に対して占める割合を取量比数とよび、同じ取量比数のものを線で結んだものが等取量比数曲線である。
- ・等平均胸高直径曲線：ある平均胸高直径になるような上層樹高とhaあたり本数の組合せを線で結んだものである。
- ・自然枯死線：ある植栽密度で植栽された林木は、自然枯死により本数は減少するが、全体としての材積は増加する。haあたりの本数と幹材積との推移を図示したのが自然枯死線である。

例えば、林野庁・社団法人日本林業技術協会が昭和58年3月に調製した「北近畿・中国地方ヒノキ林分密度管理図」に描かれているこれらの曲線式は次の通りである。

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

$$HF = -0.089118 + 0.463318H + 0.178773N^{1/2}H / 100 \quad (2)$$

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

$$dg = 200 (G / (\pi N))^{1/2} \quad (4)$$

$$d = -0.029001 + 0.991780dg - 0.036553N^{1/2}H / 100 \quad (5)$$

$$Ry = V / VRf \quad (6)$$

$$VRf = (0.0390819H^{-1.147348} + 8524.5H^{-3.102942} / NRf)^{-1} \quad (7)$$

$$\log NRf = 5.852583 - 1.955594 \log H \quad (8)$$

$$v = (0.0390819H^{-1.147348} + 8524.5H^{-3.102942})^{-1} \quad (9)$$

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} + \frac{v}{1.512503 \times 10^5 N_0^{-0.5867}} \quad (10)$$

である。ただし、

- V : haあたり幹材積 (m³/ha)
- H : 上層樹高 (m)
- N : haあたり本数 (本/ha)
- HF : 林分形状高 (m)
- G : haあたり断面積 (m²/ha)
- dg : 断面積平均直径 (cm)

- d : 平均胸高直径 (cm)
- Ry : 収量比数
- VRf : 最多密度におけるhaあたり幹材積 (m^3/ha)
- NRf : 最多密度におけるhaあたり本数 (本/ha)
- v : 平均幹材積 (m^3)
- N_0 : 植栽本数 (本/ha)

である。

安藤 (1968) は林分密度管理図から次のようなことが分ると述べている。

- a. 林分の密度、幹材積、胸高直径の関係を林分の生育段階、すなわち平均樹高に応じて読み取ることができる。ただし、等平均樹高線に対する林分材積の標本変動はかなり大きく、個々の林分材積をこの図から推定すると、時にはかなり大きな誤差を伴うことがある。
- b. ある平均樹高で、ある平均胸高直径を期待するとき、その密度を知ることができ、植栽密度を決める一つの方法として役立つ。
- c. いろいろな密度管理をしたときの収穫量を予測することができ、いろいろな密度管理の得失を比較できる。これが、林分密度管理図のもっとも特徴的なところである。
- d. 生育段階は平均樹高で示されているが、これを林齢に変換することができる。これは、林分密度管理図には、地位、林齢に無関係に平均樹高に応じて等平均樹高線が示されているが、実際に、ある具体的な林分について、その密度管理を計画するときに、「樹高10mのときに間伐をはじめ」とするかわりに、「何年目に間伐を始め、2回目の間伐は何年目に行い」というように、樹高を林齢におきかえることができるということである。

このためには、収穫表から対象とする林地の地位を判定し、地位に応じた樹高の成長曲線をかいておく都合がよい。密度管理が決まり、樹高の成長曲線がわかると、林齢に応じた幹材積の動きを、林分密度管理図から容易にかくことができ、樹高を林齢に置き換えて、将来の間伐計画を立てることができる。また、収穫表のかわりに、近年急速に研究がすすみ、実用化されている地位指数曲線を用いてもよい。これは、地位指数が、地位指数スコア表によって、土壌調査の結果から求めることができ、地位指数が求められると、地位指数曲線から、樹高を林齢に置き換えることができるということである。

- e. 地位指数と林分密度管理図から造林樹種の選定に検討を加えることができる。

林分密度管理図には、以上のような曲線が描かれており、種々の情報を読み取ることができる。これらの曲線式と前節で述べた上層樹高成長曲線を使うと収穫予測表を作成することができる。

密度管理図における間伐の処理

1. 間伐とは

間伐は目的とする樹種の個体密度の調節により林木相互の樹冠の競争を調整して、残存木の成長促進、とくに、直径成長を促すことによって形状比（樹高胸高直径）を小さくし、風

害や雪害に耐える林木に仕立て、同時にできるだけ形質・材積や生育の悪い林木を除く保育作業である。地床に光を入れて、林床植生を維持し、 A_0 層を分解促進させるなど林地保育にも役立つ。経営的には、収入のあがる中間伐採を間伐といい、除伐と分けする（主伐は更新を伴う伐採または林地以外の用途にする伐採）。第1回の間伐は、捨て伐りになる場合もあるが、第2回以降は収入源となり、主伐までの前収入として軽視できないものである。

次に、間伐の方法と型式についていうと、間伐法は、基本的な考え方によって定性的間伐法と定量的間伐法に区分され定量的な間伐とは、一口にいうならば、林分の構成状態や成長条件に応じて、適当な立木密度や現在量を決め、これに従って伐期までの全育成期間を通じて、間伐によって立木密度や現在量を調節しようとするもので、量的あるいは数的に表示されるものである。このような量的、数的な表示の基準となるものは密度、平均樹間距離、胸高直径、樹高、胸高断面積などであって間伐指針として示されているが、その主要なものは次の通りである。

- ・ 適正本数によるもの：この方法は残存密度や間伐本数が示されているので選木はかなり容易になるが、地位林齢で本数を決めることは、一応の目安として有効であっても、地位、林齢でそれぞれ生育状態が違うことを考えると、樹高や直径などの大きさに応じた適正本数と間伐方法が決められるべきであろう。
- ・ 胸高直径ならびに樹間距離によるもの：胸高直径を用いるものは、それによって樹体の大きさが表わされ、林齢、地位もほとんど消去された直径の測定そのものが容易であるため利点が多いが、樹間距離を適正化するということは、極端な本数減少の場合を除いて不可能である。
- ・ 樹高によるもの：樹高の測定は、胸高直径の測定に比べ困難なところに多少の問題はあるが、樹高は密度に影響されることが少なく、また地位林齢をあわせて表現するから、樹高を生物学的な時間の尺度と考えることができ、これを基準とした間伐指針は合理的なものといえる。
- ・ 胸高断面積によるもの：胸高断面積を用いる方法は樹高を無視しているところに欠点はあるが、それ以上に樹高や直径を用いるのと違って、単位面積あたりの2次量として示されることは利点である。

以上のうち、本システムで間伐指針として使えるものは、適正本数によるものと樹高によるものである。

次に、定性的な間伐について説明すると、定性的な間伐とは、林分内の立木を樹型級（樹冠級）に分け、間伐種に応じて伐採木と残存木を決めていく間伐方法である。

林分内の林木は生育に伴い相互に競争を始め、競争に勝った立木は成長を続けることができるが、負けた立木はやがて枯れて自然間引きを起こす。林木間の競争はそれぞれの樹冠の相対的な位置と状態によって判定できる。

間伐は林木間の競争を緩和する目的で行われるものと考えれば、樹冠の位置は間伐木と残存木を決める重要な基準となる。このような考え方から樹型級区分が示され、現在までに多くの方法が提案された。よって、間伐木を選ぶための樹冠や樹幹の形質の優劣の階級分けを

樹型級（幹級）区分という。

そして、間伐を実行するに際しては、この樹型級区分によって間伐種に従い、伐る木と残す木を区分するのである。

樹型級区分を基礎とする定性的間伐は、諸国における間伐の主流として一時盛んに行われたが、このような間伐に対する批判は時代とともに強くなった。

その主な理由は、定性的な間伐は樹型級を基礎に間伐度合または間伐種に応じて伐る木と残す木が区分されるが、この方法は伐る量にも残す量にも客観的な基準はなく、ほとんど選木者の主観によって選木されるので、実行には高度の熟練が要求されることであつた。

このように、定性的な間伐におけるむずかしさは、樹型級の判別の困難なところである。

もう一つの問題は、伐る木と残す木が間伐種（または間伐度合）に応じて一応決められているが、選木者の主観によって、間伐の強さ、言い換えると、残存密度に大きな違いが生ずる。すなわち、間伐種というものが直接間伐率に結びつかない。したがって、間伐の繰り返し期間というものはつきりしないし、間伐材積を量的に予測することも困難である。さきに述べた樹型級区分の判定のむずかしさとともに、このことが間伐をむずかしいものと考えさせるようになったようである。

以上のように、定量的間伐と定性的間伐に間伐の方法を区分することができるが、実際に間伐を実行する場合には、“形質・生育・材質のよい木を地力と林分の生育に応じて、所定の立木密度になるよう残存させる”ので、質と量および間伐の繰り返し期間を考えた樹冠の配置をつねに念頭において行うから、かなりの熟練が必要である。

次に、材の形質、用途といった生産目標と保育形式（間伐形式）の関係を述べておく。

- ・ 大径の建築用材を目標とするもの：製材用材を生産するには、初期の間伐は弱度に、十分に林分を閉鎖させて、自然落枝を助長し、また枝打ちをおこなって、目的とする節の少ない完満な用材がとれる高さまで枝下高を早くあげる。その後、間伐をすすめて肥大成長を促進し、直径の太い材を早く作るとともに、間伐材も利用するように努めるのが原則といえよう。（本システムでは、初期における弱度の間伐や肥大成長を促進させるための間伐には対応することができるが、枝打ちには対応できない。）
- ・ 高級建築用材や樽丸材を目標としたもの：高級建築材や樽丸材、とくに無節で年輪幅のそろった形質のよい大材をつくることを目標とするときは、密植して、早く林分を閉鎖させ、幼令時から枝打ちとともに弱度の間伐を繰り返し、長伐期をとることが必要である。（本システムは、年輪幅をそろえることには対応できないが、弱度の間伐の繰り返しには対応できる。）
- ・ 小角材や足場丸太を目標とするもの：概して間伐は弱度で、四ッ谷林業のように保育のための間伐はほとんど行われないうところもあり、短伐期であるため小径材が生産される。（これには本システムで対応することができる。）
- ・ 一般用丸太を目標とするもの：植栽密度が比較的低く、したがって、あまり間伐も行わないで、短伐期で一般向きの製材用丸太の生産を目標とするもので、全国的に多くの林業地がある。（これも本システムで十分対応できる。）

- ・造船用材（弁甲材）を目標とするもの：木造船用材が主な生産目標であれば、生節があってもさしつかえないので、極端な疎植で、枝打ちは全く行われず、単木の成長をできるだけ促進するように努める。（これには本システムでは対応できない。）
- ・パルプ材や坑木を目標とするもの：短伐期に材積収穫量をできるだけ多くするような保育形式が期待され、植栽密度をやや高くし、弱度の間伐を何回か行うような密植短伐期形式が考えられる（安藤，1968）。（これは本システムで対応できる。）

以上に示したように、生産目標によって保育形式はいろいろとかわってくるが、本システムはすべての保育形式に対応できるわけではなく、概して、間伐などの密度管理にはよく対応できるが、節や年輪幅といったより具体的な形質には対応できない。

このように、いろいろな間伐形式が考えられるが、坂口は間伐形式を形づくるものに、間伐開始期、間伐本数（残存密度）、間伐繰り返し期間、間伐方法（選木方法）などがあるが、どの間伐形式を採用するかは、その森林の経営目標に応じて決めなくてはならないと述べた。このような間伐に対する考え方は、あまり強くとりあげられていなかったが、今後の林業経営では常に十分に検討されなくてはならない。

また、間伐計算を行う際に用いる植栽密度について述べておく。

植栽密度について簡単に説明すると、植栽密度は、

- ① 林業は収穫までに長時間を必要とするので、予備的な林木を置き、被害などによる本数の減少にそなえる必要のあること
- ② 生産期間中に、伐期に良い木が残るように人為的な淘汰が行えるように伐期本数より多く植えることが必要である
- ③ 伐期本数だけで植栽しておいたのでは、長年月林冠が疎開しているのでは、空間利用上、また疎開していることが林木に、量的質的に好ましくない影響を与えるので、多く植える必要があるなどの理由で伐木密度より数倍も多く植えられることが普通である。

だから、植栽密度を伐期密度より多くし、生育経過に伴って、伐期の生産目標に対し、そのときどきに応じた、もっとも好ましい生育空間を与え、良い林木が残るように間伐計算をして、間伐をしてやるのである。

そして、この植栽密度を決めるためには、植栽密度は、第1回の間伐木の大きさがどのくらいならば有利に処分できるかを、それぞれの地方の事情に応じて予想し、そのためにはどの程度植栽すればよいかということから決めるのである（安藤，1968）。

2. 間伐計画について

実際に間伐を実施する上で間伐計画は最も重要なものの一つである。間伐計画の違いは、最終の生産材である主伐材の用途によって、言い換えれば、どのような材を生産しようとするかによって左右される。すなわち、人工林の伐期生産物である丸太の量（直径、長さ、完満度、材積）と形質（年輪幅と密度、節、通直度）は、植え付け密度、間伐の回数と間伐後に残す立木本数、枝打ちの回数と枝下高および伐期の長短によって違ってくる。

生産目標を達成するために、間伐計画にはいろいろな考え方ができる。間伐林齢とその時

における間伐率を決める方法。間伐するべき上層樹高と間伐率、同じく胸高直径と間伐率、収量比数と間伐率などがある。また、収量比数の上限と下限を指標とする方法や、形状比の上限と下限を指標とする方法などが考えられる。

収量比数の上限・下限を指標として間伐する場合を示すと、これは一定の収量比数の幅の中に林分の密度を保ちつつ保育を行う方法で、例えば、収量比数が0.8になったら0.7になるように間伐を行うという方法である。この方法により間伐の計画を立てる場合には、林分が過密や過疎にならないようにするために、密度管理は収量比数0.9~0.6の範囲で行うことと、1回の間伐時に動かす収量比数は0.15を限度とすることに注意する必要がある。

また、形状比の上限・下限を指標とするときには、雪害とくに冠雪害や風害などのおそれのあるところでは、形状比が極端に大きくならないように留意する必要がある。

次に、生産目標を決めて樹高を指標とする場合を示すと、これは、伐期に生産目標とした大きさの丸太が収穫できる胸高直径を決めて、このような直径の木が平均であるように密度を調整していくための間伐を樹高と間伐後の収量比数（または本数）で示す方法である。

なお、林分密度管理図は適用地域の平均の値を示すものであるから、林によっていくぶん読み取った胸高直径および材積の値が、実際に測った値と違ってくることがある。それゆえ実際に間伐する場合は林分密度管理図で求めた間伐率を基準に、現状に即して選木し間伐することが必要である。（安藤、1968）

以上のようにして、間伐計画を立て、実行していくのである。本システムではこれら間伐計画に対して、間伐林齢一間伐率、上層樹高一間伐率、胸高直径一間伐率、収量比数一間伐率、収量比数の上限・下限、形状比の上限・下限の6種類に対応できるように設計してある。入力方法としては、例えば、間伐林齢一間伐率では20年のときに15%とか、上層樹高一間伐率では10mのときに12%とか、また、収量比数の上限・下限では0.8から0.7というふうに入力してやり6種類の方法から複数選択できるようになっている（稲田・嘉儀、1989）。また、このシステムでは各種の図が出力される。これらにより、その間伐計画の良否を知ることができる。

3. 間伐に対する計算処理

林分密度管理図には、先に示した通り(1)から(10)の10式が記載されている。林分密度管理図上では、上層樹高と ha あたり本数以外の変数（ ha あたり幹材積、平均胸高直径など）は上層樹高と ha あたり本数の関数として表わされている。すなわち、上層樹高と ha あたり本数さえ決まれば、 ha あたり幹材積、平均胸高直径などのその他の変数の値はすべて計算される。

ha あたり本数 N は、自然枯死線に関する(9)、(10)式から導かれる ha あたり本数に関する2次方程式より計算することができる。すなわち、上層樹高と植栽本数が定まれば、この2次方程式を解の公式で解き ha あたり本数を求めることができる。

さらに、上層樹高については、地位別の上層樹高曲線から求めることができる。このように考えると、結局、植栽本数と林齢さえ決まれば、収穫予測表を作成することができる。

次に間伐に対する処理について説明する。例えば、収量比数が0.8になると間伐を行い、収量比数を0.7にしていくという間伐方法を考える。林分密度管理図上では間伐とは、haあたりの植栽本数3500本の場合には、3500本に相当する自然枯死線に沿って本数が減っていく、この場合は、収量比数0.8の線との交点から、収量比数0.7のところへ等平均樹高曲線に沿って移動し、その後も収量比数0.8から0.7へと自然枯死線と等平均樹高曲線に沿って移動させていくものである。つまり、「間伐とは現在乗っている自然枯死線から他の自然枯死線へ等平均樹高曲線に沿って移動することである。」と解釈することができる。すると、収穫表を作成する上で必要となるものは、新たに乗り移る自然枯死線を規定している植栽本数ということになる。

新たに乗り移る自然枯死線を規定している植栽本数は、先の(9)、(10)式より上層樹高と間伐後のhaあたり本数とから求めることができる。ただ、haあたり本数のときのように簡単な形には整理できない。そこで、この方程式を解くために計算機独特の方法である「はさみうち法」を用いて解く。

このようにして、新たに乗り移る自然枯死線が決まれば、この線上で収穫予測表の計算を実行すればよい。以上のような収穫予測表の作成手順をまとめると次のようになる(稲田・嘉儀, 1989)。

- (1) 植栽本数を定める。
- (2) 林齢を1年から伐期まで1年ずつ変化させ、そのときの諸変量の値を計算する。
- (3) このとき、諸変量の値と間伐の条件とを比較し、条件に適合する場合は間伐計算を実行し、それ以外は次の年に進む。
- (4) 間伐計算をしたときは、新たに乗り移る自然枯死線を規定している植栽本数を求め、この自然枯死線上で同様の計算を行う。

おわりに

最初に述べたように、穂の国『創造』はシステム収穫表ではあるが、白石が掲げた要件すべてを満たしてはいない。そのひとつが、定性的間伐への対応である。

定性的間伐への対応とは、言い換えると、本システムで樹型級をどういうふうに考えるのかということである。樹型級とは間伐木を選ぶための樹冠や樹幹の形質の優劣の階級分けのことであるが、現在のところ樹型級にまで対応できるシステムはまだできていない。本システムは定量的間伐にのみ対応し、定性的間伐にはまったく対処していない。これは、林分密度管理図を用いているところにその原因がある。基本的に林分密度管理図は下層間伐を想定しており、上層間伐やなすび切りのような定性的間伐を意識していないからである。また、樹型級についていえば、樹型級それ自体が個人差のある主観的なものであって、樹高や胸高直径のような絶対値をもち得ない。それゆえ、現在のシステムではそのような主観的なものを数量化し、計算処理することは困難である。

次に、年輪幅や節についても本システムで完全にコントロールすることはできない。しか

し、今後これらに対応するようシステムを変更する必要があるかどうか疑問である。なぜなら、本システムが林分密度管理図に基づき、林分の平均的な動向をつかむことに主眼を置いているからである。森林管理の対象を樹木の集合体である林分全体で考えるのか、個々の樹木の積み重ねとして考えるのかの問題である。個々の樹木の位置情報や成長経過などを積み上げ、林分全体の評価をすることは一見合理的のように思えるが、得られる情報量と作業に要する労力は到底見合いそうにない。この点、本システムは林分全体に対する経営指針をできるだけ容易に得られるようにと考え構築したシステムであり、保育指針の立案や経営計画の編成作業の軽減を主たる目的として開発したものである。よって現状では本システムの機能で十分であると考えてはいるが、利用者の要求しだいでは各種機能の追加も当然必要となろう。特に、ユーザーインタフェースの改良は不可避である。

参考文献

- (1) 安藤 貴：密度管理, 246pp, 農林出版, 東京, 1968
- (2) 稲田充男・花田智雄：収穫予測表作成に関する研究（Ⅰ）一変数多項式による異常値検出の試み, 第40回日林関西支講：91-94, 1989
- (3) 稲田充男・新宮 尚：収穫予測表作成に関する研究（Ⅲ）対数正規変動帯による地位別上層樹高曲線, 第40回日林関西支講：95-98, 1989
- (4) 稲田充男・嘉儀圭一：収穫予測表作成に関する研究（Ⅲ）林分密度管理図に基づく人工林収穫予測表, 第40回日林関西支講：99-102, 1989
- (5) 稲田充男：収穫予測表作成に関する研究（Ⅳ）林分密度管理図に基づく林分材積表, 第41回日林関西支講：207-210, 1990
- (6) 稲田充男：同齢人工林の上層樹高一本数曲線の検討, 島根大農研報25：23-26, 1991
- (7) 日本林業技術協会：間伐の手引解説編, 57pp, 日本林業技術協会, 東京, 1981
- (8) 岡本敏雄：BASICプログラム入門, 281pp, 講談社, 東京, 1985
- (9) ラックデュッセル, F.R. (長谷川勝也・石原辰雄訳)：科学計算のためのBASICサブルーチン集-2上, 285pp, 現代数学社, 京都, 1982
- (10) 白石則彦：収穫予測システムの過去・現在・未来, 森林技術764：9-12, 2005
- (11) 只木良也：林分密度管理図の基礎と応用, 126pp, 日本林業技術協会, 東京, 1969
- (12) 徳永 章：島根県スギ人工林収穫予想表の作成, 113pp, 島根大学農学部（林学科）卒業論文, 1981
- (13) 山本充男・安井 鈞：島根県スギ人工林収穫予測表1, 林分密度管理図に基づく作成システム, 山陰文研紀要23：55-69, 1983
- (14) 山本充男・安井 鈞：島根県スギ人工林収穫予測表2, 上層樹高生長曲線決定システム, 山陰文研紀要24：41-53, 1984
- (15) 山本充男・安井 鈞：林分密度管理図に基づく島根県ヒノキ人工林収穫予測表, 山陰地域研究（森林資源）1：9-20, 1985
- (16) 山本充男・安井 鈞：島根県アカマツ人工林収穫予測表について, 山陰地域研究（森林資源）2：5-16, 1986