資 料

針葉樹における材積表，細り表および林分表の調製ソフトの開発*

井 上 昭 夫**

I. はじめに

森林経営において，主な利用の対象となる幹部の材積と細りを評価することは重要である。これらの情報は，所有する林木の量的な把握を可能にするだけでなく，採材方法を決定したり，利用材積を推定したりする際の補助情報を提供する。しかし，立木の状態で幹材積と細りを測定することは一般に困難である。そこで，立木の状態でも比較的容易に測定できる樹高と胸高直径から，間接的に幹材積と細りを評価できるように，地域単位で主要な樹種ごとに材積表と細り表が調製されている（例えば，梶原，1987；1989；1992；梶原ら，1996）。また，材積表を調製するコンピュータソフトも開発されている（例えば，南雲・田中，1981；山本ら，1991）。

しかし，これらの研究では，限られた地域や樹種を対象として経験的に求めた材積式と幹曲線式が用いられている。このような材積式と幹曲線式は収集した試料に強く依存するため，材積表と細り表の適用範囲は試料を収集した地域や樹種に限定される。したがって，調製した材積表と細り表を他の地域や樹種に転用する場合，材積式と幹曲線式を改めて求め直さなくてはならない。様々な地域の様々な樹種に適用できる普遍的な材積表と細り表が望ましいと筆者は考える。

また，既存の材積表と細り表では，広い範囲にわたる樹高と胸高直径の組み合わせについて，幹材積と細りが表示されているため，表の数が膨大になっている。しかし，ある林分のある時点における幹材積と細りを評価するために必要となるのは，これらの表の限られた部分だけである。対象とする林分における林木の幹材積と細りを評価するために必要となる材積表と細り表だけを任意に抽出できるソフトが開発されると，幹材積と細りの評価作業はより簡略化されるものと考え

る。

さらに，ある林分において標準地調査が行われると，その結果は，林分の主要な諸量（例えば，平均樹高，平均直径，直径階別本数分布，林分材積および林分密度）を示した林分表にとりまとめられる。このような林分表を調製するためには，樹高曲線の決定や二変数材積式による材積計算といった作業を，表計算ソフトなどを用いて行う必要がある。標準地調査の結果を入力するだけで，林分表を調製できるソフトが開発されると，その作業もより簡略化されるものと思われる。

そこで本研究では，既報で示した理論的材積式（井上・黒川，2001b）とBHERE型の相対幹曲線式の推定方法（井上・黒川，2001a；INOUE，2001）を用いることによって，様々な地域の針葉樹に対して適用できる，材積表，細り表および林分表の調製ソフトを開発することを目的とした。このソフトでは，標準地調査による樹高と胸高直径の測定結果から，対象林分における林木の幹材積と細りを評価するために必要なだけの二変数材積表と細り表を調製できる。また，林分の主要な諸量を示した林分表も調製できる。なお，一般に林分表とは直径階別本数分布を示した表として定義されているが，本研究では上述のような林分の主要な諸量を示した表として定義する。

II. ソフトの概要

ソフトのフローチャートを図-1に示す。以下，このフローチャートにしたがって，ソフトの概要を説明する。なお，このソフトはMicrosoft社のVisual Basic 6.0で開発されており，Windows上で使用できる。

1. データの入力

このソフトでは，まず，初期設定として，データ名

* Akio INOUE : Development of a software for constructing volume, taper, and stand tables in coniferous species.

** 鳥取大学農学部森林科学講座 Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan

(林小班名など)、年月日、標準地面積、樹種および林齢を入力し、樹高曲線における係数の推定方法を選択する。樹高曲線としては(1)式のような相対成長式を採用している。

$$h = \alpha d_b^\beta \quad (1)$$

ここで、 h と d_b は樹高と胸高直径、 α と β はともに係数である。係数の推定方法は以下の3つの方法から選択できる。1つ目の方法は、標準木の樹高と胸高直径の測定値から、最小二乗法によって係数 α と β を決定する方法である。2つ目の方法は、係数 β を2/3に固定し、最小二乗法によって係数 α を決定する方法である(山本, 1985)。3つ目の方法は、2つ目の方法と同じく係数 β を2/3に固定し、係数 α を平均樹高と平均胸高直径から推定する方法である(井上, 2000)。残差平方和は1つ目の方法で最も小さく、2つ目の方法、3つ目の方法の順で大きくなると予想される。したがって、通常の場合、1つ目の方法を選択することが望ましいといえる。3つ目の方法は、今後、このソフトとシステム収穫表をリンクさせる際に有効であろうと考えられるので、推定方法の1つとして加えてある。

以上の初期設定が終了すると、標準地調査による樹高と胸高直径の測定値を入力する。ただし、樹高については標準木の測定値だけを入力すれば良い。データの入力終了すると、初期設定とデータの一覧が表示され、入力ミスの確認と修正ができる。

2. 林分表の調製

次いで、入力したデータに基づいて林分表が調製される。この林分表には、直径階別(2 cm括約)の本数、平均樹高および平均幹材積が表示される。また、これらの他に林分の基本的な情報として、データ名、林齢、平均樹高、平均胸高直径、林分密度および林分材積も表示される。

林分表の調製手順は以下のとおりである。まず、入力したデータより、直径階別の本数を2 cm括約で数える。次いで、初期設定で選択した方法によって樹高曲線の係数を決定し、各直径階の平均樹高を推定する。そして、既報(井上・黒川, 2001b)で誘導した理論的材積式((2)式)によって各直径階の平均幹材積を推定する。

$$v = \pi h d_b^2 / 4 \{2(1 - h_b/h)\}^{1.060} \quad (2)$$

ここで、 v は幹材積、 h_b は胸高(=1.2m)である。さらに、以上の結果をもとにして、平均樹高、平均胸高直径、林分材積および林分密度を求める。

3. 材積表の調製

そして、入力したデータに基づいて、対象林分にお

ける林木の幹材積を評価するために必要と考えられるだけの二変数材積表が調製される。材積表の調製手順は以下のとおりである。まず、胸高直径について、標準地調査による測定値の存在する範囲を1 cm括約で求める。次いで、樹高については、先に決定した樹高曲線から推定される最小直径階の平均樹高よりも1 m低い値から、最大直径階の平均樹高よりも1 m高い値までの範囲を1 m括約で求める。そして、これらの範囲における樹高と胸高直径の全ての組み合わせについて、(2)式に示す二変数材積式によって幹材積を計算する。

4. 細り表の調製

さらに、入力したデータに基づいて、対象林分における林木の細りを評価するために必要と考えられるだけの細り表が調製される。相対幹曲線式としては、(3)式に示すBEHRE式を採用している。

$$y = x / (a + bx) \quad (3)$$

ここで、 y は基準直径(相対高0.9における直径)に対する相対半径、 x は相対高(梢端が0、地際が1)である。また、 a と b は係数であり、それぞれ次式によって推定できる(井上・黒川, 2001a; INOUE, 2001)。

$$a = 0.9(2 - b) \quad (4)$$

$$b = (180\phi - 126\theta) / (20\phi - 63\theta + 70\theta\phi) \quad (5)$$

ただし、 θ と ϕ は次式によって与えられる。

$$\theta = \sqrt{7/10f} \quad (6)$$

$$\phi = 1 - h_b/h \quad (7)$$

ここで、 f は胸高形数である。(6)式と(7)式から分かるように、BEHRE式の係数は樹高、胸高直径(あるいは胸高断面)および幹材積によって推定できる(井上・黒川, 2001a)。さらに、(2)式に示す理論的材積式(井上・黒川, 2001b)を用いると、幹材積は樹高と胸高直径から推定できるので、樹高と胸高直径のみの情報からBEHRE式の係数を推定できることになる(INOUE, 2001)。なお、KUNZE式の係数も同様にして推定できるが(井上・黒川, 2001b; INOUE, 2001)、BEHRE式の方が相対的に高い適合度を示すので(INOUE, 2001)、このシステムではBEHRE式を採用する。

細り表の調製手順は以下のとおりである。一般に、林分内における相対幹曲線式の変動は小さく安定している(梶原, 1972, 1984, 1985)。したがって、まず、林分の平均樹高、平均胸高直径および平均幹材積から、(4)式～(7)式によって林分の平均的な相対幹曲線、すなわち林分相対幹曲線(梶原, 1973)を推定する。次いで、胸高直径について、標準地調査による測定値の存在する範囲を1 cm括約で求める。そして、先に決定した樹高曲線によって各直径階の平均樹高を1 m括約で推定する。さらに、求めた平均樹高と胸高直径階

の組み合わせ全てについて、先に推定した林分相対幹曲線式に基づいて、地際から1 m間隔での各地上高における直径を1 cm括約でそれぞれ推定する。

5. データの保存と印刷

以上のような機能の他に、入力したデータを保存する機能も付け加えた。保存されたデータは、このソフト上で開くことができる。なお、材積表、細り表および林分表については、入力データが与えられると、すぐに調製できるので、保存する機能を加えていない。また、コンピュータ上だけでなく、現実林分のような他の場所においても、入力したデータと調製した材積表、細り表および林分表を活用できるよう、印刷の機能も付け加えている。

Ⅲ. ソフトの特徴

1. 論 理 性

既存の材積表と細り表では、経験的に求められた材積式と幹曲線式が用いられていた。このような材積式と幹曲線式では、最小自乗法によって係数が決定されるため、式の両辺で次元が矛盾したり、樹高と胸高直径との間の多重共線関係によって係数が不安定になるといった論理性に関する問題点を含んでいる場合が少なくない。これに対し、本研究において開発したソフトで用いた理論的材積式（井上・黒川，2001b）と相対幹曲線式の推定方法（井上・黒川，2001a；INOUE，2001）は、最小自乗法を用いることなく、理論的に誘導されている。このため、(2) 式ならびに (3) 式～(7) 式から分かるように、式の両辺で次元が矛盾することもなく、また、多重共線関係の問題が生じることもない。したがって、このソフトでは、既存の材積表や細り表にみられるような論理性に関する問題を含んでいないといえる。

2. 普 遍 性

既存の材積表と細り表では、経験的に求められた材積式と幹曲線式が用いられていた。このため、表の適用範囲は、材積式と幹曲線式を求めるための試料を収集した地域や樹種に限定されていた。これに対し、開発したソフトでは、経験的に決定される係数を含まない理論的材積式（井上・黒川，2001b）と相対幹曲線式の推定方法（井上・黒川，2001a；INOUE，2001）を用いている。したがって、このソフトは様々な地域の針葉樹に対して適用できる可能性が高い。

3. 適 合 性

井上・黒川（2001b）は、鳥取大学農学部附属蒜山

演習林において収集したスギとヒノキ各50本の試料を用いて、(2) 式に示す理論的材積式と林野庁計画課（1970）によって調製された既存の二変数材積式を比較し、その適合度に差があるとはいえないことを示した。

また、INOUE（2001）は、同じスギとヒノキの試料を用いて、樹高と胸高直径のみの情報から推定されるBEHRE型の相対幹曲線式の適合度を検証し、梢端付近の樹幹上部を除いた幹の細りを高い適合度で推定できることを示した。利用材積の推定や採材方法の決定において、梢端付近の推定誤差はあまり重要ではない。

以上のことより、本研究において開発したソフトによって推定される幹材積と細りの適合性は、このソフトの有効性を決して否定しないと考える。

4. 実 用 性

既存の材積表と細り表では、広い範囲にわたる樹高と胸高直径の組み合わせについて、幹材積と細りがそれぞれ表示されていた。これに対し、開発したソフトによって調製される材積表と細り表では、対象林分における林木の幹材積と細りを評価するために必要と考えられるだけの情報しか示されていない。したがって、このソフトで調製された材積表と細り表を用いることによって、幹材積と細りを評価する作業はより簡略化されるものと考えられる。

また、従来、林分表の調製のためには、表計算ソフトなどを用いた計算作業が不可欠であった。これに対し、開発したソフトでは、標準地調査による樹高と胸高直径の測定結果を入力するだけで、林分表が調製されることになる。

以上のことより、林木の幹材積と細りを評価したり、林分表を調製したりする作業を簡略化させるという点において、本研究において開発したソフトは、高い実用性を備えていると考える。

Ⅳ. おわりに

本研究では、針葉樹における材積表、細り表および林分表の調製ソフトを開発した。このソフトは、様々な地域の針葉樹に適用できる可能性が高いと同時に、幹材積と細りの評価ならびに林分表の調製に要する作業を簡略化できる有効なソフトだと考える。今後は、様々な地域における針葉樹の資料を用いて、ソフトを構成する理論的材積式と相対幹曲線式の推定方法の適合度をさらに検証する予定である。また、このソフトをより使いやすく有用なものへと改良していきたいと考えている。

最後に、鳥取大学農学部森林計画学研究室の黒川泰

図-1 ソフトのフローチャート
Flowchart of the developed software.

亨教授には有益なご助言をいただくとともに、種々ご便宜を図っていただきました。また、同研究室の卒業生賀藤正治君には、ソフトの開発において多大なご協力をいただきました。ここに記してお礼申し上げます。

引用文献

- 井上昭夫 (2000) 判別分析法によるスギ同齢単純林における樹高曲線の解析—係数の簡単な推定方法—. 日林誌 82 : 355~359.
- INOUE, A. (2001) Can the relative stem taper curve be estimated theoretically only from tree height and diameter at breast height? J. For. Plann. 7 : 89~94.
- 井上昭夫・黒川泰亨 (2001a) 相対幹曲線式の新しい推定方法—システム収穫表への応用—. 日林誌 83 : 1~4.
- 井上昭夫・黒川泰亨 (2001b) 針葉樹における二変数材積式の理論的誘導. 日林誌 83 : 130~134.
- 梶原幹弘 (1972) スギ同齢林における相対幹曲線の変動について. 日林誌 54 : 340~345.
- 梶原幹弘 (1973) 林分相対幹曲線による林分細り表の作成方法. 日林誌 55 : 379~387.
- 梶原幹弘 (1984) 相対幹形とその幹材積推定への利用に関する研究 (Ⅳ) 大分のスギ同齢林における相対幹形と正形数. 日林誌 66 : 268~274.
- 梶原幹弘 (1985) 相対幹形とその幹材積推定への利用に関する研究 (Ⅶ) 林分内における相対幹形と正形数の変動. 日林誌 67 : 341~347.
- 梶原幹弘 (1987) 相対幹形とその幹材積推定への利用に関する研究 (Ⅷ) 相対幹形に基づく立木材積表と細り表の作成. 日林誌 69 : 1~9.
- 梶原幹弘 (1989) 相対幹曲線式に基づく大分のスギ (ヤブクグリ) 同齢林の立木材積表, 形数表および細り表の作成. 京府大演報 33 : 13~29.
- 梶原幹弘 (1992) 相対幹曲線式に基づく奈良県スギ同齢林の立木材積表, 形数表および細り表. 京府大演報 36 : 1~28.
- 梶原幹弘・伊藤達夫・梶原規弘・藤本幸司・山本 武 (1996) 相対幹曲線式に基づく岐阜県今須のスギ・ヒノキ択伐林の立木材積表, 形数表および細り表. 京府大演報 40 : 85~124.
- 南雲秀次郎・田中万里子 (1981) 相対幹曲線式を用いた材積表の調製. 日林誌 63 : 278~286.
- 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表—西日本編. 319pp, 日本林業調査会, 東京.
- 山本博一・南雲秀次郎・富田英聖・高田功一・芝野伸策・井口和伸・犬飼 浩 (1991) 東京大学北海道演習林ヨーロッパトウヒ材積表の調製—材積表調製システムの作成—. 東大演報 84 : 59~140.
- 山本充男 (1985) 長柱の座屈理論に基づく樹高曲線の検討. 島根大農研報 19 : 29~33.

(2001年9月21日受付)

(2002年2月14日受理)