報 告

福岡県におけるスギのシステム収穫表*

福岡県林業試験場 福島敏彦**

1. システムの目的及び開発の経過

本システムの基本となるものは、筆者「林業経営システムプログラム」¹⁾であり、図-1に示すように基礎的な「収穫表」、「林分評価」を対象としたものである。

ところが、システムの利用サービス段階で明らかになったのであるが、プログラムは開発当時の機種メモリー(MZ80K, 48K)の関係から情報量の不足と入出力に制限があり、例えば間伐方法に関して任意性が乏しかった。品種情報については逐次プログラムの変更を伴った係数修正等の問題があった。また、サービスに対する要望は属地的なものから属人的なものも多くなった。

基礎的(属地的)な段階から応用的(地域や属人的)な段階である「家計的林業経営」、「地域林業経営計画」、「県営林等の専門的林業経営計画」等にシステムを進化させるには、予めこれを考慮して基礎的な段階で任意性の高いシステムにバージョンアップを図る必要がある。また、現実のサービス対象に余りなっていないが、森林の成熟化に伴う長伐期林分や複層林に対するサービスも増加することも考慮して、これらの情報を付加できるよう収穫表も長伐期に対応したものとする必要がある。

これらを背景として、図-2に示すように、その途中段階である「システム収穫表」の報告をする。

2. システムの特徴

本システムは個別の農家林家でも容易に利用されるように対話型で、入力には樹種または品種、樹高地位、植付本数、間伐の林齢・本数・間伐方法のみである。

これまでの収穫表は画一的で平均的なものであったが、本システムは任意地位、任意品種、任

図-1 林業経営システムプログラム概要

* Toshihiko FUKUSHIMA: Sugi(*Cryptomeria japonica*) Yield System in Fukuoka

** 福岡県林業試験場 Fukuoka Pref. Forest Exp. Stn., Kurogi, Fukuoka 834-12

図-2 システム収穫表の流れ図

意施業による個々の林分に対して過去、未来のシミュレーションが可能となり間伐や伐期等の経営計画の基礎資料となる。

3. システムの内容

1) 樹高成長

樹高成長曲線を作成するには横軸に林齢 T 、縦軸に樹高 H をとり、多くの樹幹解析(211本)から得られた林齢と樹高の値(点)から上部、下部、中央になる成長曲線を求める。さらに補間法によって間線を必要に応じて求める。次に、補間法の要領で林齢40年を樹高地位指数とした成長曲線を1m階別に求め直す。こうして求められた成長曲線の間は等間隔になっている。

この等間隔(一定)になることに着目して、樹高成長曲線を次のように書き換える。横軸に40年時の樹高地位指数 H_{40} 、縦軸に H として林齢 t 毎に曲線を求める。この林齢 t ごとの曲線は直線となり、下式のように簡単な直線式で示される。

$$H_t = h_t \cdot H_{40} \quad (1)$$

H_t は t 年時樹高である。 h_t は林齢 t によって変化する成長係数である。縦軸(対数目盛り)に h_t 、横軸に林齢 t をとり、 t による h_t の変化を図化する。

この曲線は一般的にはゴンペルツや修正指数曲線式などで示される性格のものである。これま

で、樹幹解析された調査資料の多くが林齢40年前後を対象としている場合が多く、林齢40年生以下に引きずられた樹高成長曲線式となっており、林齢40年を越えると調査資料が少ないことから統計上軽視されたものとなっている。

林齢40年以上の樹幹解析資料を多く収集して、林齢40年以上にも適合するゴンペルツや修正指数曲線式を求めようとする、林齢40年以下の推定精度が悪くなり、樹高の成長曲線式は一つの曲線式で示しにくいものである。

樹高成長曲線は一つの式で示されれば、それに越したものはないが、多くの資料から得られた樹高成長曲線と個別の樹幹解析値を比較すると、その較差が誤差の範囲であっても線形として似つかない場合もあり、一つの式にこだわる必要もないようである。また、計算機の発達により複数の式でも煩雑さを感じなくなった。

そこで、長伐期林分に対応するために幾つかの成長期間に分けて樹高成長曲線式を求めることにした。成長期間に分けると樹高成長曲線式は次式のように簡単な指数曲線式で示される。

$$h_t = A \cdot T^B \quad (2)$$

A 、 B はある成長期間における係数である。成長期間の区分は h_t の変化に対応して適宜に決定するが、最近の長伐期の傾向から100年以上の樹高成長曲線が必要である。林齢200年までならば5つ程度の成長期間に分けた方が h_t の変化を説明しやすく、ここでは5つの期間に分けることにする。従って、(2)式は次式のようになる。

$$h_{tn} = A_n \cdot T^{B_n} \quad (2)'$$

n は成長期を示す。(2)'式は n 毎に林齢 T の範囲(期間)を示す必要があるが、期間が樹種や品種毎に異なることから線形区分の記録上煩雑である。ところが都合の良いことに、 A や B には次式のような関係がある。

$$\begin{array}{ccc} \text{若齢} \leftarrow & & \rightarrow \text{高齢} \\ A_1 < A_2 < A_3 < A_4 < A_5 & (3) \end{array}$$

$$B_1 > B_2 > B_3 > B_4 > B_5 \quad (4)$$

若齢から高齢になると、(3)式は縦軸を切る値(A_n)が大きくなり、(4)式は傾き(B_n)が小さくなる。これらの大小関係を利用して、例えば、第一成長期間では次式がなりたつ範囲が T の期間になる。

$$A_1 \cdot T^{B_1} \leq A_2 \cdot T^{B_2} \quad (5)$$

他の成長期間も同様の関係になる。即ち、 A_n 、 B_n の値を(2)'式に代入して h_{tn} の値を n 個計算して $h_{t1} \sim h_{t5}$ の中から最も小さい値を選択すれば林齢 T 年時の h_t の値が得られることになり、選択は計算機の得意とするところである。

これらのことから、樹種や品種によって成長期間が異なる毎に、その林齢 T の範囲を特に記録しておく必要がない。

注意したいことは、40年時の樹高地位が10m以下になると植栽時の成長が悪いために(3)、(4)式

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

の大小の関係は異なったものとなる。ここでは、上記のように樹高地位が低い場合は極めて少ないことから、無視することにした。

また、樹高地位 H_0 がわからず現在の林齢・樹高値がわかっている(2)式の最小値と(1)式を変換して求められる。

以上の方法で t 年時樹高を求める。

2) 立木本数

自然疎開の公式はヒルミ²⁾によると次式のとおりである。

$$N_t = N_L \cdot (N_0 \div N_L)^{\exp(-\alpha(t-t_0))} \quad (6)$$

$$\text{ただし, } N_L = 10 (L_a - L_b \cdot \log H_0) \quad (7)$$

N_t は林齢 t 年時の立木本数、 N_L は疎開限界本数、 N_0 は t_0 年時の本数 (ha) で初期値であり、人為的に本数が与えられる植付本数や間伐後を初期値 N_0 、 t_0 とする。 α は疎開係数でヒルミは地位によって変化せず、樹種ごとに一定の値を示すと述べている。

西沢正久³⁾ は相対幹距が10%で安定した本数減少を続けると仮定して、連立方程式で N_L 、係数 α 、 L_a 、 L_b の値を求めている。

表-1 疎開係数

樹 種	α	L_a	L_b
ス ギ	0.0145	4.9819	1.8960
ヒ ノ キ	0.0356	5.3800	1.9000
アカマツ	0.0109	4.7200	1.9000
クロマツ	0.0109	4.7200	1.9000
ク ヌ ギ	0.0110	4.3600	1.9000

スギ、ヒノキは西沢、マツ、クヌギは筆者

しかし、(6)式は自然状態における生育条件であり、下刈や間伐等が考慮されていないことから、うっ閉に達する前から枯損すること、間伐の次年から枯損することが欠点としてあげられる。

そこで、これらを作為的に施業条件を補足する必要がある。即ち、幼齢時のうっ閉前 ($H_t < 7.5\text{m}$) または、間伐後の経過年数が間伐により枯損しない年数 K 以下 ($K > t - t_0$) ならば次式で(6)式を補足する。

$$N_t = N_0 \quad (8)$$

$$\text{ただし, } K = 30 \{1 - N_t / N_{t_0}\} + K' \quad (9)$$

この時 N_t は間伐前本数、 N_{t_0} は間伐後の本数、 K' は前回の期間の残して間伐した時の残りの年数。

3) 直径成長

直径成長の公式は西沢正久⁴⁾は (10), (11) 式のように述べている。

$$\log D_d = D_{ab} - D_{an} \cdot \log N_g + D_{ah} \cdot \log H_t \quad (10)$$

$$D_t = D_b + D_a \cdot D_d \quad (11)$$

N_g は品種による肥大成長反応を考慮した t 年時本数であり基本的には $N_g \doteq N_t$ の関係にある。
 D_d は断面積, D_t は直径, D_{ab} , D_{an} , D_{ah} , D_b , D_a は係数。

表-2 断面積係数

樹 種	D_{ab}	D_{an}	D_{ah}	D_b	D_a
ス ギ	1.2630	0.2227	0.6869	0.0705	0.9810
ヒ ノ キ	1.1530	0.2384	0.7844	-0.3642	0.9993
ア カ マ ツ	1.3050	0.2155	0.6480	0.2360	0.9733
ク ロ マ ツ	1.3050	0.2155	0.6480	0.2360	0.9733
ク ヌ ギ	1.3530	0.2091	0.6093	0.4150	0.9680

スギ, ヒノキは西沢, マツ, クヌギは筆者

ところが (10), (11) 式から求められる直径 D_t は樹高 1.2 m でも正の直径が求められ, うっ閉 (7.5 m) 後になると現実に近い値が求められる。

そこで, うっ閉前の D_t を次のように修正する。

$$H_t < 7.5 \text{ m ならば } D_t = D_i (H_t - 1.2) / (H_i - 1.2) \quad (12)$$

D_i , H_i はうっ閉に達する直前の林齢時における直径と樹高。

品種による肥大成長の違いについて, 筆者「スギ林分生産構造に関する研究～樹形と品種～」⁵⁾ は樹形 (樹高と直径) と本数との関係を実生スギと全品種資料を合わせた平均的傾向を求め, この平均的傾向と実生スギ及び各品種との較差を次式のように求めている。

$$\text{スギ品種の場合, } N_g = (N_t - N_b) / N_a \quad (13)$$

$$\text{スギ品種以外の場合, } N_g = N_t \quad (14)$$

N_a , N_b は品種等による肥大成長に関する較差係数。

また, 疎開限界本数 N_L 以下に間伐しても, 間伐による肥大は期待されない。

$$N_g < N_L \text{ ならば } N_g = N_L \quad (14)'$$

4) 間伐後の樹高・直径成長

間伐後の疎開による肥大成長について, 西沢等⁴⁾は主林木の係数としても D_{ab} , D_{an} , D_{ah} , D_b , D_a の値を設定しているが, これは劣勢木間伐を想定したものであり, 現実の林分では必ずしも直径の小さい順に間伐されていないことから, 適合度は少し過大な値になるようであり, むしろ上記表-2の主副林木の係数のままの方が適合するようである。また, 間伐による樹高の変化も考慮されていない。

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

経営目的等によって劣勢木間伐，全層木間伐，優勢木間伐のいずれの方式でも選択できることが必要であることから，次のように間伐後の H_t ， D_t を修正することにした。

【劣勢木間伐の場合】

$$H_{j \cdot t} = H_{j-1 \cdot t} \cdot D_{j \cdot t} / D_{j-1 \cdot t} \quad (15)$$

【全層木間伐の場合】

$$K_t = K_{t_n} / 25 \text{ ただし, } K_t \leq 1 \quad (16)$$

$$D_{km} = \{D_{j \cdot t}' - D_{j-1 \cdot t}\} / 2 * K_t \quad (17)$$

$$D_{j \cdot t} = D_{j-1 \cdot t} + D_{km} \quad (18)$$

$$H_{j \cdot t} = H_{j-1 \cdot t} \cdot D_{j \cdot t} / D_{j-1 \cdot t} \quad (15)$$

【優勢木間伐の場合】

$$K_t = K_{t_n} / 25 \text{ ただし, } K_t \leq 1 \quad (16)$$

$$D_{j \cdot t}'' = 2 \cdot D_{j-1 \cdot t} - D_{j \cdot t}' \quad (19)$$

$$D_{km} = D_{j-1 \cdot t}'' - D_{j \cdot t}' \quad (20)$$

$$D_{j \cdot t} = D_{j \cdot t}'' + D_{km} \cdot K_t \quad (21)$$

$$H_{j \cdot t} = H_{j-1 \cdot t} \cdot D_{j \cdot t} / D_{j-1 \cdot t} \quad (15)$$

上記ではBASIC的な2元配列の式となっており j は人為的な間伐や台風などによって本数を変えた回数であり，記号はこれまでの説明に準ずる。

K_t は修正係数， K_{t_n} は間伐後経過年数， D_{km} は間伐による肥大効果の修正係数， $D_{j \cdot t}'$ または $D_{j \cdot t}''$ は修正前の j 回目間伐の直径。

5) 分散

樹高・直径の分散はワイブル分布を想定すると，分布確率 N_i の各階級の値は樹高，林齢に関係なく一定である。従って，各階級の値を予め求める。ここでは，最大と最小を除き9階級に分ける。

表一 3 階級別分布確率

階 級	i	分布確率	階 級	i	分布確率
	1	0.0426	6		0.1539
	2	0.0933	7		0.0982
	3	0.1529	8		0.0492
	4	0.1920	9		0.0259
	5	0.1920	計		1.0000

$$D_d = (D_t - D_b) / D_a \quad (22)$$

$$D_{cv} = \sqrt{(D_d / D_t)^2 - 1} \quad (23)$$

$$M_d = D_t \cdot D_{cv} \quad (24)$$

$$D_{min} = D_t - (2.6 \cdot M_d) \quad (25)$$

$$D_{max} = D_t + (2.6 \cdot M_d) \quad (26)$$

$$H_{cv} = 0.1764 \quad (27)$$

$$M_h = H_t \cdot H_{cv} \quad (28)$$

$$H_{min} = H_t - M_h \quad (29)$$

$$H_{max} = H_t + M_h \quad (30)$$

$$H_{ti} = (H_{max} - H_{min}) \cdot i / 10 + H_{min} \quad (31)$$

$$D_{ti} = (D_{max} - D_{min}) \cdot i / 10 + D_{min} \quad (32)$$

$$N_{ti} = N_t \cdot N_i \quad (33)$$

ただし、 D_d は断面積。 D_{cv} は直径の変動係数を示す実験式であるが、利用径級以下の3 cm以下で問題がある。 M_d は直径の標準偏差。 D_{min} は直径の最小値。 D_{max} は直径の最大値。 H_{cv} は樹高の変動係数であるが調査プロット程度の小面積の場合には樹高に関係なくほぼ一定の値になる。最近では、対象面積により大きくことなり、樹高によっても若干変化し定数でないことが分かりかけたところであるが具体的な報告の段階に至っていない。そこで、ここでは定数であると仮定する。 M_h は樹高の標準偏差。 H_{min} は樹高の最小値。 H_{max} は樹高の最大値。 N_i は分布確率。

H_{ti} , D_{ti} , N_{ti} は林齢 t 年の階級 i における樹高, 直径, 本数。

これらの各階級の樹高, 直径, 本数は次の立木材積や素材材積を計算する場合に用いると平均木で計算するより正確に求められる。

6) 材積

材積は各階級の樹高, 直径, 本数毎に「西日本立木材積表」の2変数材積式⁶⁾を用いて計算する。

素材材積は同様に各階級毎の値と、幹曲線式^{7) 8)}を用いて採材長を想定して1番丸太から順次末口径3 cmになるまで計算する。

なお、2変数材積については、一般的であることから省略した。また、幹曲線についてはかなりの紙数が必要であることから上記文献に譲ることとする。

4. 今後の課題

今後の課題としては民有林の施業面積が小さいことから、面積による分散の変化を把握すること。

劣勢木間伐や優勢木間伐直後の平均木の樹高や直径の変化は問題がないにしても、上記の単純な確率分布だけでは最高値や最低値の説明が困難である。即ち、劣勢木間伐をすると間伐直前の最高値よりも間伐直後の最高値の方が大きくなることである。

Jpn. J. For. Plann. 16 '91

引用文献

- 1) 福島敏彦：「林業経営システムプログラム」，福岡県林業試験場時報**30**号， 8～48， 1989
- 2) 高橋 清 訳：ヒルミ著「森林の生物物理学理論」， 98pp， 1965
- 3) 西沢正久 等：「福岡県水源の森基本調査報告書(2)」， 77pp， 1982
- 4) 西沢正久 等：「福岡県水源の森基本調査報告書(2)」， 79pp， 1982
- 5) 福島敏彦：「スギ林分生産構造に関する研究～樹形と品種～」， 日林九支論， 25～26， 1978
- 6) 林野庁編：「西日本立木材積表」， 197pp， 1961
- 7) 長浜三千治：「スギの細り表の調製」， 福岡県林業試験場研究資料No **5**， 10pp， 1981
- 8) 福島敏彦：「福岡県におけるヒノキ林分について（II）～ヒノキ幹曲線～」， 福岡県林業試験場研究資料No **6**， 1～8， 1982