

生産目的に沿ったトウヒ - モミの多年齢混交林および択伐林の施業決定支援ソフトについて

バーデン・ヴュルテンベルク林業試験場、森林育林部（５月 2003 年受付）

J.Klaedtke und Ch.Yue

キーワード

択伐林、択伐移行林、トウヒ - モミ - ブナ混交林、モデリング

１．問題セッティング

ドイツ連邦森林蓄積調査の結果によると、バーデン・ヴュルテンベルク州の森林面積の約 3.5% が択伐林と択伐林移行型の森林である (Schoepfer und Hradetzky,1993)。Baar-Wutach と Schwarzwald に限ると、ほとんど 8%になる。択伐林的な林分施業は今後ますますその重要性を増すので、実際の施業法決定支援手段がますます重要になるものと思われる。

ここでは、従来の収穫表や面積あたりの本数や蓄積の数値だけでは十分ではない。現在の成長モデルはまだそのような不齊な林分構造のダイナミズムを十分に描けるようなものになっていない (Hanewinkel u. Pretzsch,2000)。

これまでも択伐林の構造解析のために理論的なモデル式が作られているが、実際問題として、その使用は大変難しい。ましてや、択伐林移行中の林に適した決定方法の基礎はまだ十分ではない。

以上の理由で、バーデン・ヴュルテンベルク州の財政支援のもとに択伐林、択伐移行林の施業目的や蓄積に関する施業決定支援ソフトが開発された。ソフトウェアパッケージ PEP (択伐林施業のための生産目標に沿った決定支援ソフト) がここに提供される。

２．基礎データ、問題構築、方法

２．１ 基礎データ

このプログラム開発のための基礎データとして、バーデン・ヴュルテンベルク林業試験場、育林部の択伐林試験地のデータを使用する。これらのシュバルツバルトにある試験地は現在 100 年に近い観察を続けられており、何種類もの施業方法による択伐林の変化に富んだ変化過程とそのさまざまな広範囲のスペクトルを記録している（表 1）。

さらに、二つのスイス択伐試験林、Roethenbach 村 (試験地 E8 02-047, Plw 1 と記号) とエンメンタル / ベルン州 Bowil (択伐試験林 E5 01-027, Plw 2) のデータ (スイス連邦森林・雪・農業局育林部提供) も使用された。Plw 1 は平衡状態の択伐林であるが、Plw 2 はその平衡状態が危機に瀕していると判断されているものである (Zingg,1998)。

択伐移行林での使用については、BMBF 計画「南シュバルツバルト」の二つの試験林によって検証された (Guehne,2001)。その他、ショップハイムの森林、ゲルスバッハ村有林、

UeF 1(Distr.12,Abt.5a) , UeF2(Distr.12,Abt.25a)も利用している。これらは 1950/1960 年以來森林管理の指標林として記録されてきており、実際の典型的択伐移行林である。

表1 サンプルプロット一覧表

試験地	場所	面積 (ha)	海 抜 高 (m)	降 水 量 / 成 長 期 (mm/y)	平均 気 温 / 成 長 期 ()	例 数 / 開 始 年	樹種ト/ モ/ブ	i_v (m3/yha)
Plw 5	Alpirsbach/Mttl. Schwarzwald	1.0	830	1550/ 760	7.0/ 13.3	15/ 1931	65/33/2	10.2
Plw 15/2	Wolfach/Mttl. Schwarzwald	0.6	760	1540/ 590	6.8/ 13.2	10/ 1950	71/27/2	10.7
Plw 15/3	Wolfach/Mttl. Schwarzwald	0.5	760	1540/ 590	6.8/ 13.2	10/ 1950	79/18/3	9.9
Plw 16/1	Todtmoos/Sud Schwarzwald	0.5	1000	1800/ 600	6.0/ 12.0	10/ 1950	56/32/ 12	8.6
Plw 16/2	Todtmoos/Sud Schwarzwald	1.0	1000	1800/ 600	6.0/ 12.0	14/ 1926	42/49/9	9.4
Plw 17/1	BadRippoldsau- Schapbach/Mttl. Schwarzwald	0.4	840	1590/ 790	6.6/ 12.8	10/ 1950	76/24/0	11.5
Plw 17/2	BadRippoldsau- Schapbach/Mttl. Schwarzwald	0.4	840	1590/ 790	6.6/ 12.8	10/ 1950	81/19/0	10.7
E8 02-047	Rothenbach/Bern Schallenberg- Rauchgrat.CH	2.5	1060	1185/ 665	7.6/ 14.4	10/ 1931	67/29/4	12.6
E5 01-027	Bowl/Bern Badwald,CH	2.0	861	1391/ 730	7.6/ 14.4	14/ 1921	66/29/5	11.2
UeF 1 Distr.12 Abt.5b	Gersbach/Sud- Schwarzwald	4.5	980	1800/ 500	7.7/ 14.5	4/ 1970	83/2/15	12.3
UeF2 Distr.12 Abt.25a	Gersbach/Sud- Schwarzwald	9.6	1050	1800/ 500	7.7/ 14.5	3/ 1973	70/5/25	8.2

2.2 プログラム開発と方法

このモデルは直径階を変数としており、距離には無関係である。距離に関係のないモデルは樹木座標を必要としないので、実用上大変使いやすい。このことは基本的にその適合性を損なわない(Daniels et al.,1986,Tome u.Burkhardt,1989)。直径階に分けることで、断面積の累積計算と言う簡単化をもたらす(Schuetz,1975)、純粋に面積あたりの値(例えば、断面積/ha)を用いて複雑な問題の本質的な解答を得ることができるようになった。

その評価関数のパラメータは、大抵の成長モデルの場合のように大量のデータから導かれるのではなくて、林分の特殊性から導くことができる。これはとにかく大抵の場合、繰り返し計算を行うことを前提としている。使用データは十分にあるので、場所的、構造的に比較検討するための計算用初期値はすぐに設定できる。林分のデータの代わりに、経済的在庫量のデータを使用することもできる。とにかく、他の方法と違って、PEPは直径、断面積、または蓄積についての目標設定をすることができる。これはとくに択伐移行林にとっては重要なことである。

このプログラムは分析モジュールと予測モジュールからなっている。その機能と計算基礎について以下に説明する。

2.2.1 分析モジュール

2.2.1.1 課題

分析モジュールは、過去の森林成長学的な標準的な評価法のほかに、平衡曲線算出の可能性を含んでいる。そこでは、Prodan(1949),Mitscherlich(1952),Schuetz(2001)の方法がさらに発展し、それらが使いやすく改良されている(Yue et al.,1997)。

森林成長学的な数値、樹木数、直径、樹高、高/径比(形状比)、断面積、蓄積、成長量を直径階または年あたりで計算し、図示することができる。また、これらの値を樹種別、径級別(小径、中径、大径)に分けて求めることもできる。それゆえに、林分の構造や構造変化を例えば樹高曲線の外挿、形状比の変化、または断面積累計などで分析することができる。とくに、種々の均等性指数によって、林分の水平的な構造(直径変動)を数量化し、その変化を図示することもできる(Bachofen,1996)。

平衡曲線は、古典的な森林成長学の択伐林構造判別の手段である(Schuetz,1975;Zingg u. Duc,1998)。実際の直径階別本数配分と比較することによって、理想的直径階別本数配分とどのくらい偏っているか?どの直径範囲でとくに強く離れているか?などを見極めることができる。

分析モジュールは、伐採利用またはブナの生育(それがトウヒやモミの更新に与える影響)などとともに時系列的な林分の成育状況をこの平衡曲線で図示することが可能である。また、種々の目標直径、目標断面積、あるいは目標蓄積に対する平衡曲線を計算することができるので、例えば、蓄積減少、目標直径変化への影響を直接的に調べるができる。

2.2.1.2 方法

森林成長学的標準評価法による計算は、DESER-Norm によって行われる。これは、ドイツ林業研究機関協会の収穫学部門で長期研究の評価方法として推奨されている方法である(DVFF 収穫学セクション,1993)。この標準評価法は均一性指数の計算を補足するものである (Camino,1976) 。 平 衡 曲 線 の 計 算 基 礎 は 、Prodan(1949),Mitscherlich(1952),Schuetz(2001)の業績であり、また、バーデン・ヴェルテンベルク林業試験場、育林部の準備作業も貢献している(Yue et al.,1997)。

平衡曲線の場合は、例えば Meyer(1933)によって使用されたような純粋な平衡関数ではなく、実際の直径階別本数配分、成長、進級、伐採利用量、枯死および一定の目的設定に基づいた複雑なアルゴリズムが用いられる。

公式としては、以下のように定義される。

$$N_G = f(D_z, G_z, i_d, M, N) \quad (1)$$

ここで

N_G	平衡曲線
D_z	目標直径
G_z	目標断面積(または目標蓄積)
i_d	年間直径成長
M	伐採利用量(および枯死)
N	実際の直径階別本数配分

Mitscherlich(1952)が実際にある直径および成長の構造から平衡曲線を計算(以下に(N^M)と記号をつけた)し、Prodan(1949)が伐採利用量を(N^P)を追加し、Schuetz(2001)が遂に平滑化された長期の進級および伐採利用量率を使用した(Hanewine,1998 参照)。

PEP は平衡曲線の計算をこの 3 つの方法によって行うことができる。ここでは加重回帰式を使用した Prodan の方法と相対的伐採利用量配分法が改良されている(Yue.et.al,1997)。

さらに、回帰式に基づいた方法(N^R)が開発されており、これは問題の生じている択伐平衡林にも使用することができる。

理想的な択伐林型の場合、直径階別本数配分に次のような関係がある。直径階 i の本数を n_i として、

$$N = (n_1 \geq n_2 \geq \dots \geq n_k) \quad (2a)$$

純粋の平衡曲線 $N^A = \{n_1^A, n_2^A, \dots, n_k^A\}$ の場合は次のような関係式に従うものとする。

$$N^A = f(D_z, N) \quad (2b)$$

個々の直径階にある成長を組み込むには、この平衡式を次のように改変する。

$$\text{平衡曲線を } N^R = f(N^A, i_d, G_z) \quad (2c)$$

(記号については前述を参照)

択伐平衡林があるとすると、ここに述べられた方法が、問題の多い択伐林型ではなくて、同様の結果に導く。???平衡曲線がその時々々の林分状態に強く影響されることを避けるために、複数加重法を組み込んだ方法(N^k)が導かれた(Mosteller u. Tukey,1977)。

$$N^k = bw(N^R, N^P, N^M) \quad (2d)$$

2.2.2 予測モジュール

2.2.2.1 課題

予測モジュールは直径階別本数配分と平衡曲線の動的比較を可能にする。期待される成長過程のリアクションについての情報を集めて、一定期間の林分取り扱いの平衡曲線上への影響を査定することができる。予測の適合性は期間が長くなるほど低下するので、予測期間は 10-15 年を越えないようにするべきである。

しかし、また、林分の直径階別本数配分と平衡曲線をできるだけ近似させるように干渉形式を定めてゆくことも可能である (以下に最適化伐採利用量と記している)。

現場で育林処置決定のための基礎情報として、結果のグラフィック表示のほかに、各直径階の本数の超過または不足に関する表や伐採利用予定量の本数または材積などの出力も可能である。

2.2.2.2 方法

予測と直径階別本数配分

実用的に使用するためには、種々の利用の仕方や目標設定を考慮に入れた林分変化を予測することが不可欠である。これはマトリックス法(変位マトリックス)によって実行できる (Solomon et al.,1986,Buongiorno et al.,1995;Yue et al.,1997)。

マトリックス法は次のように表される。

$$N_{t+\omega} = A_t(N_t - M_t) + I_t \quad (3a)$$

詳しくは

$$A_t = \bigoplus_{i=1}^I A_t^i = \begin{pmatrix} A_t^1 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & A_t^2 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & A_t^I \end{pmatrix},$$

$$A_t^i = \begin{pmatrix} b_{1,t}^i & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ a_{1,t}^i & b_{2,t}^i & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ c_{1,t}^i & a_{2,t}^i & b_{3,t}^i & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & c_{2,t}^i & a_{3,t}^i & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & b_{k-1,t}^i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & a_{k-1,t}^i & b_{k,t}^i \end{pmatrix}$$

$$N_t = \begin{pmatrix} N_t^1 \\ N_t^2 \\ \cdot \\ N_t^l \end{pmatrix}, \quad M_t = \begin{pmatrix} M_t^1 \\ M_t^2 \\ \cdot \\ M_t^l \end{pmatrix}, \quad I_t = \begin{pmatrix} I_t^1 \\ I_t^2 \\ \cdot \\ I_t^l \end{pmatrix}$$

$$N_t^i = \begin{pmatrix} n_{1,t}^i \\ n_{2,t}^i \\ \cdot \\ n_{k,t}^i \end{pmatrix}, \quad M_t^i = \begin{pmatrix} m_{1,t}^i \\ M_{2,t}^i \\ \cdot \\ M_{k,t}^i \end{pmatrix}, \quad I_t^i = \begin{pmatrix} a_{0,t}^i \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{pmatrix}$$

ここに

$a_{0,t}^i$ 樹種 i の時間 t までの ω 期間に最初の胸高直径階への進級可能性

$a_{k,t}^i$ 樹種 i の胸高直径階 k にある全数のうち、 ω 期間に直径階 k から直径階 $k+1$ へ進級する率

$c_{k,t}^i$ 樹種 i の胸高直径階 k にある全数のうち、 ω 期間に直径階 k から直径階 $k+2$ へ進級する率

$b_{k,t}^i$ 樹種 i の胸高直径階 k にある全数のうち、 ω 期間中同じ直径階に残る割合

$m_{k,t}^i$ 樹種 i の胸高直径階 k にあるもののうち、 ω 期間中に伐採利用される量

I 樹種数

ここでは、確率 $a_{0,t}^i$ 、進級率 $a_{k,t}^i$ 、 $c_{k,t}^i$ と同じ径級にとどまる率 ($b_{k,t}^i$) の推定が決定的に重要である。

このマトリックスモデル(Leslie,1945;Usher,1966;Buongiorno et al.,1995)は定常状態のマルコフ過程に基づいている。すなわち、各クラスの進級確率および枯死確率($P_t = \{I_t, A_t\}$)が時間的に一定であり、したがって、システムの状態は時間 t にのみ依存するということである。Solomon et al(1986)はこれを2段階のマトリックスモデルに拡張した。ここでは、まずこれらの要素は、一次回帰式を適用した林分パラメータの関数として推定される。つづいて、直径階別本数配分をこれによって前に進める。実際には一次関係はないのであるが、その複雑な関係は時とともに変化してゆく。

これらの要素は実質的に干渉の強さと残留断面積に依存する。これらは準備段階で指数関数から導出される。そこでは、過去のデータから各クラスの進級確率や枯死率などが計算される。

さらに最適化するには、特に、例が少ないために起こるデータ不足のような場合、組み合わせた評価方法が使用される(Newbold u. Granger,1974)。加重定数の推定には、繰り返し回帰計算法が用いられる。新しい例では、マトリックスの進級確率と枯死確率を現況にあわせる。

最良の線形評価(BLUE)が重要であるこのやり方はそれで動的な関係が描けるというおおきな長所をもつ。

数学的には次のように公式に書くことができる。

$$X_t' = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}, \quad x_t' = \{p_t^1, p_t^2, p_t^3\},$$

$$Y_t' = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$$

個々の評価値 p_t^i は以下のように書くことができる。

$$p_t^1 = f(P_{t-1}),$$

$$p_t^2 = f(Df_t), \quad (3b)$$

$$p_t^3 = f(G_{1,kum})$$

それゆえに P_t に対する評価法 y_t は

$$y_t \approx N(\beta_t, x_t, S_t^2) \quad (3c)$$

繰り返しアルゴリズムは(Brown et al.,1975)

$$\beta_t = \beta_{t-1} + (X_t' X_t)^{-1} x_t (y_t - x_t \beta_{t-1}), \quad (3d)$$

$$S_t^2 = S_{t-1}^2 + w_t^2 \quad (3e)$$

ここで

$$(X_t'X_t)^{-1} = (X_{t-1}'X_{t-1})^{-1} - \frac{(X_{t-1}'X_{t-1})^{-1}x_t x_t'(X_{t-1}'X_{t-1})^{-1}}{1 + x_t'(X_{t-1}'X_{t-1})^{-1}x_t}$$

$$w_t^2 = \frac{(y_t - x_t\beta_{t-1})^2}{1 + x_t'(X_{t-1}'X_{t-1})^{-1}x_t}$$

β_t 時点 t の回帰係数

S_t^2 時点 t での分散

P_{t-1} 時点 $t-1$ の変位マトリックスの要素

Df_t 時点 t での間伐前の単面積にたいする取り除かれるものの断面積

$G_{cum,t}$ 時点 t での累積断面積

進級や伐採利用量は時により変わるので、各クラスへの進級確率、枯死確率の要素は新しい事態が出てくるたびにごとに繰り返しアルゴリズムにより現況に合わせられる(Brown et al.,1975)。

ここに書かれた方法は以下の長所により顕著である。

- ・ 少ないパラメータしか要しない
- ・ 実際の林分などのデータに基づいて要素の繰り返し評価をするので高い適合性を達成する
- ・ 非線形関係や動的な関係も利用できる

利用用途

利用用途としては、以下の2つが考えられる。

- 1)実際に起こるであろう、または、使用者が考えている伐採利用をあらかじめ設定することがありうる。予測される直径階別本数配分を上述のように計算する。
- 2)設定された目標値(直径、断面積、材積)を考慮した場合の平衡曲線と直径階別本数配分の間の偏差を減らせるように伐採利用を定めるという場合もありうる。

この場合、以下のように計算が進む。

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k G_j (n_{j,t+\omega}^i - n_{j,t}^i)^2 \quad (4)$$

ここでは、

$$m_{j,t+\omega}^i \geq 0$$

$$n_{j,t}^i - m_{j,t+\omega}^i \geq 0$$

$$d_{t+\omega}^i - d_z^i = 0$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k G_{j,t+\omega}^i - \sum_{i=1}^I G_z^i \approx 0 \quad \text{ないし} \quad \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k V_{j,t+\omega}^i - \sum_{i=1}^I V_z^i \approx 0$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k E_{j,t+\omega}^i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k m_{j,t+\omega}^i > 0;$$

成長量が伐採利用量より大きい 蓄積増大

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k E_{j,t+\omega}^i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k m_{j,t+\omega}^i = 0;$$

成長量が伐採利用量に等しい 蓄積不変

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k E_{j,t+\omega}^i - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^k m_{j,t+\omega}^i < 0;$$

成長量が伐採利用量より小さい 蓄積減少

また、

G_j 直径階 j の断面積,

$n_{j,z}^i$ 樹種 i, 直径階 j の目標直径階別本数配分(平衡曲線)

$n_{j,t+\omega}^i$ 樹種 i 直径階 j の時点 t+ω での予測直径階別本数配分

$n_{j,t}^i$ 樹種 i 直径階 j の時点 t での実際の直径階別本数配分

$d_{t+\omega}^i$ 樹種 i の時点 t+ω での直径

d_z^i 樹種 i の目標直径

$G_{j,t+\omega}^i$ 樹種 i 直径階 j の時点 t+ω での断面積

G_z^i 樹種 i の目標断面積

$V_{j,t+\omega}^i$ 樹種 i 直径階 j の時点 t+ω での蓄積

V_z^i 樹種 i の目標蓄積

$E_{j,t+\omega}^i$ 樹種 i 直径階 j の時点 t+ω での成長量

伐採利用量は、目標値、平衡曲線と上述の条件に基づいて、非線形計算を繰り返し評価す

る。

3. 結果

この結果の部分では、プログラム PEP の両モジュールが提供しているもっとも重要な計算可能範囲を、ヴォルファッハにある択伐試験林 15/2 と 15/3 およびスイスの両択伐試験林ならびに二つの択伐移行林によって紹介する。

3.1 択伐林での使用可能性

3.1.1 分析モジュール

累積断面積と蓄積の大径級への成長

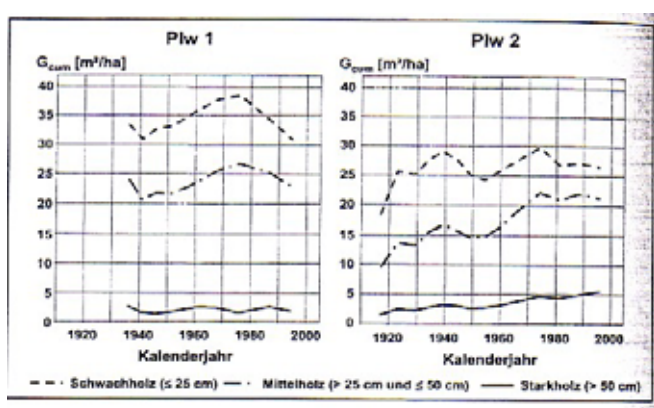


図 1 累積断面積 G_{cum} の成長(横軸 = カレンダー年、縦軸 = 胸高断面積 m^2/ha 、下の凡例 = 左から小径級、中径級、大径級) Plw1 では最後の段階で累積断面積が元の水準まで落ち込んでいるが、Plw2 では、およそ連続的に大径級(50 cm以上)の累積断面積が増え続けている。このことは競争が激しくなっていることを示唆する。

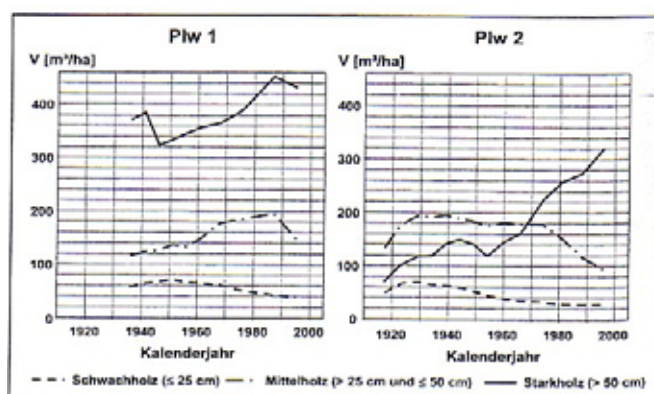


図 2 蓄積の成長(横軸 = カレンダー年、縦軸 = 蓄積 m^3/ha 、下の凡例 = 左から小径級、中径級、大径級) Plw1 では、競争が激しく、大径級ではあまり変化がないが、Plw2 では 40 年の間に中径級から大径級へ成長している。

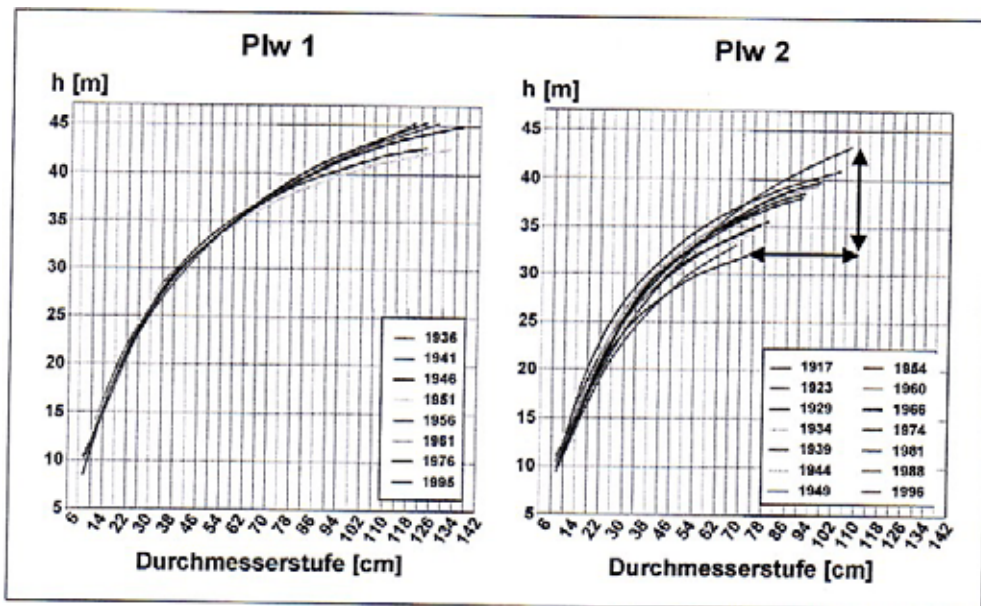


図3 林分樹高曲線の変化(横軸 = 直径階、縦軸 = 樹高 m) Plw1 では樹高曲線の変化は大きくないが、Plw2 では明らかに上方に成長している。

累積断面積は競争の指数である。全樹種の断面積を合計したもので表される。図1は2つの林分の累積断面積の変化を図示したものである。Plw2の競争が強くなってきていることを図は示している。累積断面積は小径級と中径級だけでなく、大径級でも上昇している。これは蓄積変化にも表れている(図3)。小径級と中径級の蓄積が減少しているのに対して、大径級の蓄積が劇的に増大している。このことは、Plw2ではこの40年間に中径級から大径級へ変化してきたことは、明らかに、小径級と中径級の後退と関係している。蓄積総計がはじめの250m³から1996年の500m³に2倍に増えている。Plw1の方では、1936年から1996年までに、545m³から615m³まで増えているが、競争状態と大径級は比較的变化が少ない。

樹高曲線の伸長と形状比(樹高/直径)の変化

平衡状態にある択伐林は、長期間、その林分樹高曲線が多かれ少なかれ一定状態で推移する。これが大きく伸長する場合は、大きな構造変化が起こっていることが示唆されている(Mitscherlich, 1952)。

図3はこれを一目瞭然に明らかにしている。図1と2によれば、競争が少なく、構造変化もすくないことが示されている、Plw1のモミの林分樹高曲線はお互いに狭く分布しているので、一本の線で代表できるくらいである。それに対して、2の方は、1917年の測定から1996年の測定までに上方に伸長している。同時に直径範囲も右の方へ相当広がっている。それとともに形状比にも約10単位ほどの増加がある。このことはこの試験地では競争が大きくなっていることの確かな証拠である。

この分析がこの両択伐試験林の変化の相違を明確にしている。Plw1 は同様な択伐林としての性質を残しているが、Plw2 の方は択伐林型から離れた形になってきている。

平衡曲線

両試験林の相違する変化はまた平衡曲線の実際の直径階別本数配分との比較においても示される(図 4 と図 5)。

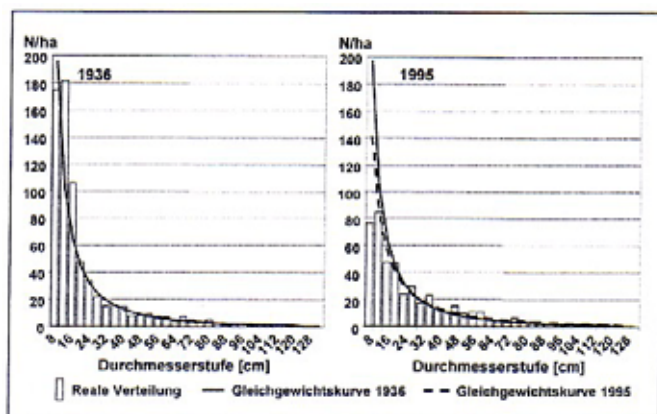


図 4 Plw1 試験林の直径階別本数配分と平衡曲線(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、下の凡例 = 左から実際の本数配分、平衡曲線 1938、平衡曲線 1998) 小径級の本数不足にもかかわらず、Plw1 はなお平滑的な択伐林型を保っている。1936 年と 1995 年の平衡曲線は似ている。

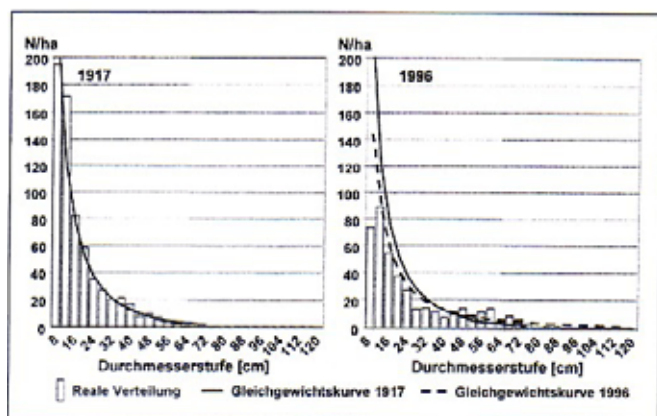


図 5 Plw2 試験林の直径階別本数配分と平衡曲線(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、下の凡例 = 左から実際の本数配分、平衡曲線 1917、平衡曲線 1996) Plw2 では、後の計測値が 2 つのピークを示しており、これは明らかにこの林が 2 層構造になっていることを示す。二つの平衡曲線は明らかにお互いに異なる。

試験林 Plw1 は、いまなお平滑な択伐林型を示している。一部の直径階での本数過剰は隣の直径階での本数不足で補われた形になっている。また、直径階の広がりほとんど変化せ

ず、最初と最後の平衡曲線が大変良く似ている。小径(8 と 12 c m)範囲の本数が不足していることは、この試験林にひょっとすると問題があることをはっきりと示している。

試験林 Plw2 については、最初の測定時よりも全体的に本数が少なくなっている。中でも、最後の計測値で直径階別本数配分に二つのピークが認められる。これは明らかにこの林が 2 層構造の傾向を持っていること示す。この例に描かれた平衡曲線は実際の直径階別本数配分と蓄積に基づいたものである。しかしながら、他の種々の目標直径、-断面積、-蓄積についての平衡状態を計算することは可能である。

3.1.2 予測モジュール

予測モジュールは伐採利用の直径階別本数配分の変化に与える影響を求めるので役立つ。

ここではまた、目標蓄積や目標直径を動かしてみることもできる。

図 6 に試験林 Plw1 で実際に行われた伐採利用(グラフの左半分)の影響と最適化された伐採利用(グラフの右半分)の影響を図にした。

この試験林では、右の方が平衡状態に近く実際と最適化されたものとの差は比較的に小さい。とはいっても、最適化された伐採利用の方が実際に行われたものよりも平衡曲線により近いものにするだろう。

図 7 も試験林 Plw2 について、同じ状況を示している。最後の計測により実行された伐採利用(枯死したものを含めて)はより広い直径階範囲 12cm から 96cm まで広がっている。それに対して、最適化された伐採利用は、48-72 cmの直径範囲に集中している。

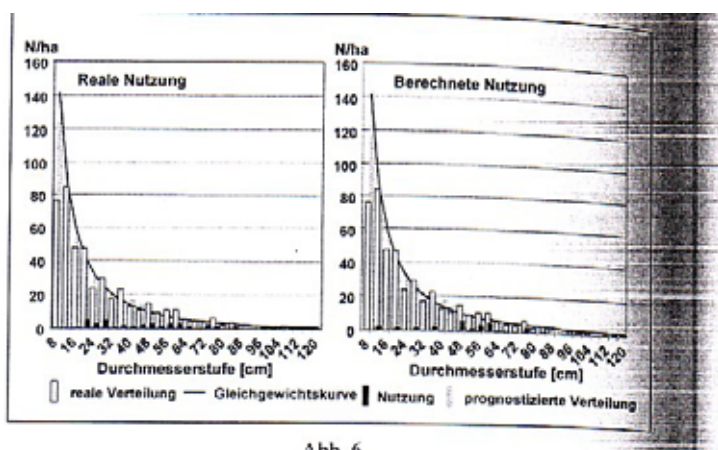


図 6 実際の伐採利用と計算された伐採利用の試験林 Plw1 の変化に与える影響(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、左図 = 実際の伐採利用量、右図 = 計算された伐採利用量、下の凡例 = 左から実際の本数配分、平衡曲線、伐採利用量、予測本数配分) 実際の伐採利用と計算された伐採利用の試験林 Plw1 での影響の差は僅かである。

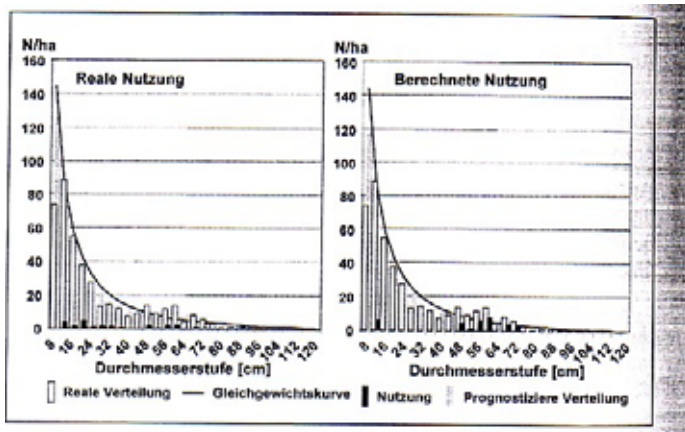


図 7 実際の伐採利用と計算された伐採利用の試験林 Plw2 の変化に与える影響(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、左図 = 実際の伐採利用量、右図 = 計算された伐採利用量、下の凡例 = 左から実際の本数配分、平衡曲線、伐採利用量、予測本数配分) 実際の伐採利用が直径階の広い範囲に広がっているのに対して、計算された伐採利用は 48-72cm の範囲に集中している。これによって、比較的早く平衡状態に戻るができるものと思われる。

予測計算された直径階別本数配分(灰色の後背部の柱状グラフ)は、実際の伐採利用選木が最後の計測時の直径階別本数配分(白の柱状グラフ)の超過分をいくらかは減らしていることを示している。しかし、十分ではない。比較的強い小径範囲の本数不足は強い定員不足に導くものである。

最適化された伐採利用選木によって、10 年後の予測直径階別本数配分が平衡曲線に近づくことが計算されている。ここでは過剰分はほとんど除かれている。小径範囲の本数不足はここでも残されているが、実際の伐採利用の場合に期待されるものより少ない。

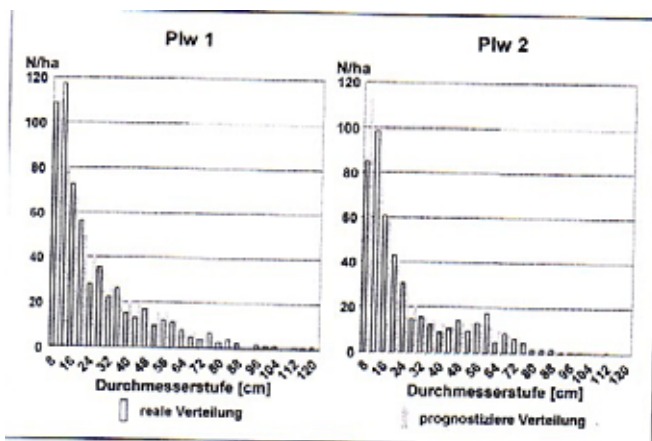


図 8 両試験林 Plw1 と Plw2 の実際と予測された直径階別本数配分(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、下の凡例 = 左から実際の本数配分、予測された本数配分) 実際の本数配分が予測によっても現実再現される。

択伐林型のさらなる改良は試験林の目標直径と目標蓄積を修正することによって達成される(図示なし)。

予測の適合性は過去の計測によるデータで判定された。前に測定したものの実際の伐採利用と直径階別本数配分ならびに進級率と成長率を用いて、直径階別本数配分が予測され、後の計測による実際の直径階別本数配分が比較された。図 8 は両試験林の最後の計測に基づいてこの予測が比較的に信頼できるものであることを示している。それはそうなのだが、当然、ここの直径階では大きな偏差を生じることもある。両試験林の特徴(試験林 2 には 2 個のピークがある。試験林 1 には急激に直径階別本数配分が落ちる)は模造したものである。個々の計測についての効率(

Loague と Green,1991)に基づいて両試験林について計算された予測適合性は 0.81 から 0.99 という高い値であった。この適合性は試験林の短い計測間隔と短い予測期間という条件付で言えることである。しかし、11 年の計測間隔の場合でも 0.9 以上という高い値が得られている。

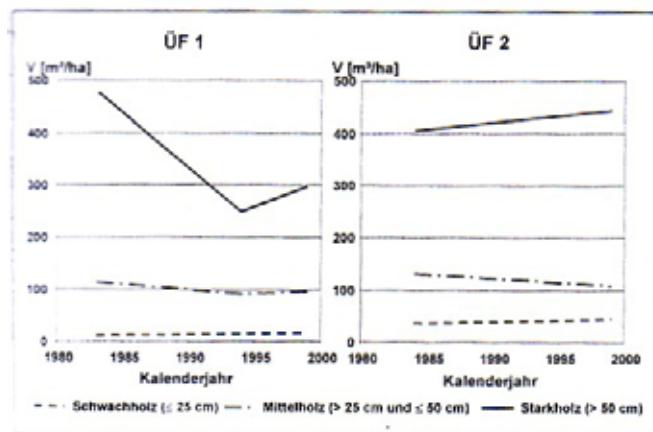


図 9 BMBF 試験林 UeF1 と Uef2 の蓄積変化(横軸 = カレンダー年、縦軸 = 蓄積 m³/ha、下の凡例 = 左から小径級、中径級、大径級) Uef2 ののに対して、Uef1 の蓄積は大径級で劇的に減少している。

3.2 択伐移行林での使用可能性

このプログラムを択伐移行林に適用した以下に述べる例は、森林地域ゲルスバハのプロジェクト協会「南シュバルツバルト」の BMBF プロジェクト「未来志向の森林経営」に由来する。上に述べた択伐試験林と異なるところは、林分構造のほかに、基礎データの中にも存在する。択伐試験林が科学的に十分な適合性を持つ長期に渡る観察がなされてきているのに対して、BMBF 試験林には、まだ、2 ないし 3 回の計測しか行われているにすぎない。その最初の計測は森林管理の基準(4cm 活約の林尺で記録)に従って組織的に実施されているが、このようにデータの質に制限があるにもかかわらず、PEP の助けを借りて、将

来の成長を予測するための状態判別について重要な証言をすることも可能である。

図 9 は(図の下の方の線種説明の左から)小径級、中径級、大径級に分けて両試験林の蓄積変化を示したものである。試験林 UeF1 が明確にその蓄積を 670m³ から 470m³ に落としているのに対して、試験林 UeF2 では 570m³ から 600m³ に僅かに増加させている。

取り扱い方の相違が、直径階構造の変化だけでなく、樹種構成までに影響を与えている。強度の干渉が明らかに UeF1 の更新を促進しており、とくにトウヒ割合を増加させ、元の 1 ピーク型のモミとブナの直径階別本数配分を択伐林型に近い本数配分に変化させている(図 10)。

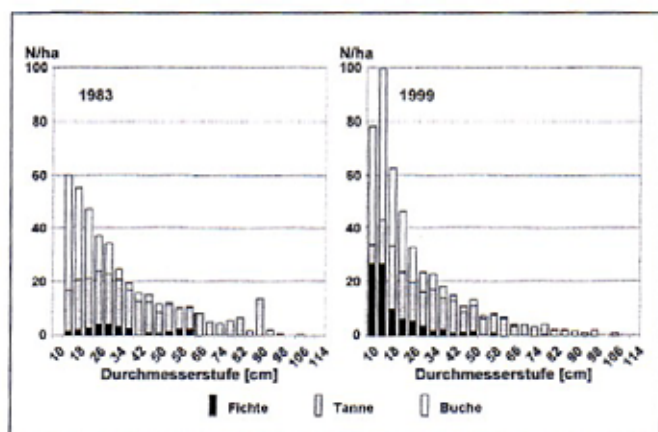


図 10 試験林 UeF1 の直径階別本数配分の変化(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、図の下部にある凡例 = 左からトウヒ、モミ、ブナ) 蓄積減少の結果、元の 1 ピーク型のトウヒとモミの直径階別本数配分がゆっくりと択伐林型に近づいている。

試験林 UeF2 では、1999 年の直径階別本数配分が択伐林型を示している(図 11)。しかし、これはブナ占有型に帰っている。ブナは対陰性が強いので、弱い干渉によってできる過密林分で、このような単一樹種化が起こる。そのために小径部分のモミの割合がさらに後退し、トウヒは完全に消えてしまう。

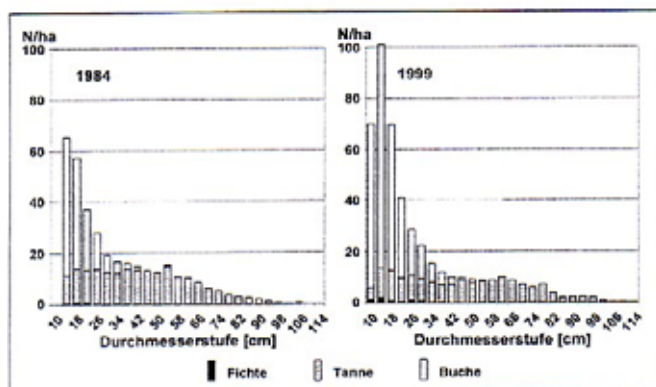


図 11 試験林 UeF2 の直径階別本数配分の変化(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha、図の下部

にある凡例 = 左からトウヒ、モミ、ブナ) 1999 年の計測で見られる択伐林型に似た直径階別本数配分がブナ占有型になっている。高い蓄積を保持することが単一樹種化に有利になりうる。

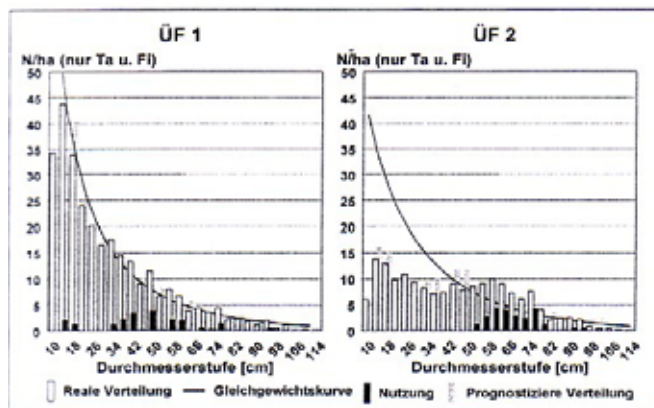


図 12 両択伐移行林の択伐林型(トウヒとモミのみ)への変化可能性(横軸 = 直径階、縦軸 = 本数/ha(トウヒとモミのみ)、下の凡例 = 左から実際の本数配分、平衡曲線、伐採利用量、予測本数配分) 試験林 UeF1 のみ、近いうちに択伐林型に到達する見込みがある。

出発点の違いによって、択伐林型への変化可能性は異なってくる。

試験林 UeF1 は、トウヒとモミを約 60m³ 伐採利用することによって比較的早急に択伐林型(目標直径 115cm、蓄積 400m³)に到達させようとしているのに対して、試験林 UeF2 の方は、見通しのつく時間内では全く見込みがない(図 12)。もし、試験林 UeF1 で、目標直径を 100cm に設定していたとすれば、小径部分に重大な本数不足ができるという結果になっていただろう。

4. 使用の前提条件と今後の開発について

基本的に PEP は PC のウインドウ上で EXE プログラムとして使用できる。ここに書かれたプログラムバージョンは、まだプロトタイプであって、育林部の試験林データバンクから作られた、アクセスによるデータバンクが必要となる。経済林蓄積のデータとのインターフェースのプログラミングがなお実行されなければならない。実行中の作業の困難な点は、数理統計的方法の間発にもあり、育林学的使用ルーチンのプログラミング、人間とのインターフェース、ならびに図表表示の方法などまだ最適になっていない。

5. 要約

択伐林と択伐林型に似たタイプの林は育林の世界でますます重要な役割を持つようになる。したがって、林分施業法の実用的な決定支援方法を開発することがこの事態にたいする緊急課題である。

ソフトウェア PEP(択伐林の施業目標に沿った取り扱い方法決定支援プログラム)がそのよ

うな道具として紹介されている。このプログラムは、本数、直径、樹高、形状比、断面積、累積断面積、材積、成長量のような森林成長学的な数値を直径階またはカレンダ年に対して図表にすることによって、データによる林分解析に貢献するものである。このプログラムは、樹種、径級(小径級、中径級、大径級)に分けて利用することもできる。したがって、林分の構造や構造変化を、例えば、樹高曲線の伸長、形状比変化、または累積断面積を手がかりに分析することもできる。さらに、異なる均質性指数によって林分の水平構造(直径変化)を定量化し、その変化を図示することができる。

ことに、個々の林分平衡曲線を、直径または蓄積に関する異なる目標設定のもとに計算することができる。

予測モジュールは、特定の干渉方法または特定の目標直径ないし目標蓄積の林分変化への影響を評価することを可能にしている。逆に、林分の直径階別本数配分をある平衡曲線にできるだけ近づけるような干渉方法を定めることもできる。

このモデルは直径階についてのみ関連しており、距離には無関係である。評価関数のパラメータは、この場合、大抵の収穫モデルがそうであるように大量のデータに基づいて計算されるのではなくて、林分の特徴から算出される。さらに、これが新しい計測によって現実的なものになり、評価適合性も改良される。この連続的なある定まった林分型への適応性がとくに択伐移行林についての動的な利用面で大変重要である。

異なった他の方法でも同様に PEP は直径、断面積、蓄積についての目標設定を定義つけることを可能にしている。

育林現場での基礎情報として、結果のグラフのほかに、直径階別の超過数や不足数の表や本数または収穫材積によって表された予定伐採利用量の表をつくることができる。

択伐林または択伐移行林の分析や取り扱い方を提案するやり方については、スイス連邦森林、雪、農業試験場の 2 つの択伐試験林ないし森林地域ショップハイム(南シュバルツバルト)に基づいたものを紹介している。