

択伐林における目的にそった平衡曲線決定方法

Ch. Yue, J. Klaedtke, E. Lenk

Abteilung Waldwachstum der FVA-Baden-Wuerttemberg

要旨

択伐林はそれぞれの平衡状態によって特徴づけられる。通常、この平衡状態は直径階別本数配分によって表される。当面の研究では、Prodanの平衡モデルに基づいた、択伐林の直径成長曲線決定のための加重回帰式法が導入されている。これによって択伐林独特の複雑性を除去して考えることが可能になる。さらに、試験地データに基づいて、相対的伐採利用本数配分法が導かれる。この二つの新しい要素を用いて、平衡曲線が計算できる。その上、種々の伐採利用条件のもとでの林分成長推定に動的マトリックス法が開発されている。試験地データから得られた結果は、この方法の実用性を裏付けている。

1. はじめに

択伐林は近自然的森林施業として重要な役割を担う。継続的な天然更新と皆伐一斉林の回避ということが択伐林思想に大きな魅力を与えている。過去においては、とくに、経済的理由によって、ある特定の森林や所有関係の中では理想的なものと思われていた。19世紀の終わりにすでに Licocourt(1898)は平衡状態にある択伐林の直径階別本数配分が右下がりの幾何学的曲線を描くことが法則として示されていた。これから Meyer(1933)が指数関数を導いている。択伐林の構築が林分、成長、伐採利用の平衡に依存することを指摘したのは Prodan の功績である。この意味で、Licocourt の法則と Meyer の指数関数は一般的な統計学の平衡関数とみなされる。Prodan(1949)はそれについて直径成長と伐採利用の直径階別本数配分に依存する平衡状態の決定方法を導いた。Francois(1938)の思想に基づいて Schuetz(1975)が最終的に現実に近い平衡モデルを構築した。

バーデン・ヴュルテンベルク林業試験場、育林部は、択伐試験地についての研究の枠内で、この平衡モデルに基づいた特定の伐採利用本数配分による直径成長曲線を描出できるだけでなく、その後の林分成長予測を行うことのできる方法を開発した。

2. 方法

2.1 平衡状態

択伐林についての客観的決定支援は、成長過程の知識を前提条件としている。

Meyer(1977)によれば、択伐林とは「多層構造で自然に近い混交持続型であり、小さな面積上でも単木状または群状に上層、中層、下層が交じり合い、樹高、直径、年齢についても多様である構造的に平衡状態に達しているもの」である。

択伐林はそれぞれの平衡状態によって特徴づけられる。通常、この平衡状態は直径階別本数配分によって表される。「平衡状態」の概念は次の2つの意味をもつ。

1. 直径階間の平衡 ひとつ上の直径階へ進級したか伐採利用された樹木数はひとつ下の直径階からの進級木数に等しい。

2. 時点間の平衡 同じ胸高直径階の樹木数（または胸高断面積ないし蓄積）は時点が異なっても同じである。これは理論的に次式で表される。

$$\begin{aligned} X_{it} &= X_{it-1} & \sum_{i=1}^n X_{it} &= \sum_{i=1}^n X_{it-1} \\ G_{it} &= G_{it-1} & \sum_{i=1}^n G_{it} &= \sum_{i=1}^n G_{it-1} \\ V_{it} &= V_{it-1} & \sum_{i=1}^n V_{it} &= \sum_{i=1}^n V_{it-1} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

n 胸高直径階の数

X_{it} 直径階 i、時点 t の樹木数

G_{it} 直径階 i、時点 t の胸高断面積

V_{it} 直径階 i、時点 t の材積

以上から、平衡状態を保持するための決定的条件は成長の大きさを観察して適当な伐採利用量により修正することである。

平衡状態そのものは立地条件、伐採利用の種類、経営目的に影響され、それによって変化する。（図 1 参照）。

立地条件は林分構造、天候、樹種構成とともに成長に影響を与える。

個々の直径階の伐採利用量は、本数、断面積、材積を変化させる。

経営目的は直径階別の目標直径（樹種構成）、目標断面積、目標材積で設定される。

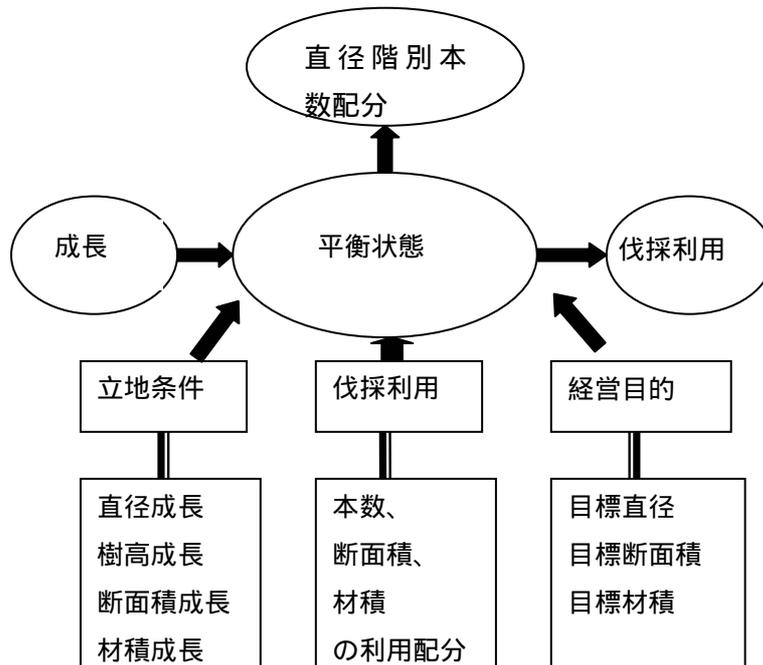


図1 平衡状態の概念図

2.2 平衡モデル

この項で述べる平衡モデルには立地条件、伐採利用、経営目的がともに含まれているので、択伐林を平衡状態に導くこと、そしてまた、その持続可能性を検査することも可能にしている。

2.2.1 Prodan(1944)による平衡モデル

直径成長曲線と経験的な伐採利用本数配分に基づいて、Prodan(1944)はつぎのような平衡モデルを作った。

$$X_{i-1} = X_i \frac{z_i}{z_{i-1}} + \frac{m_i b}{z_{i-1} T} \quad (2)$$

ここで、

- X_i 胸高直径階 i の樹木本数
- z_i 直径階 i の直径成長
- m_i 直径階 i の伐採利用量
- b 直径階幅
- T 時点長

2.2.2 Schuetz(1975)による平衡モデル

Schuetz(1975)は、長期の均等化された進級率と伐採利用率の平均値に基づいて択伐林のひとつの平衡モデルを導いた。

$$X_{i-1} = X_i \frac{(p_i + e_i)}{p_{i-1}} \quad (3)$$

ここで、

- X_i 直径階 i の立木数
- p_i 直径階 i の進級率
- e_i 直径階 i の伐採利用率

ここでは Prodan のやり方で要求された個々の直径階の伐採利用量についての経験的な知識はもはや必要ではなくなる。しかし、この方法の欠点は進級率と伐採利用率のバラツキが非常に大きく、適当な平衡化関数選択が困難なことである。使用される均等化関数の性質は平衡曲線に大きく影響する。その他、これまで択伐林の扱いがなされていなかった林分を択伐林形に移行させようとした場合に適用することには問題がある。

両方のモデルは移項によって同じものであることが分かる（付録参照）。それらは本質的に2つのエレメントに基づいている。2つのエレメントは直径成長と伐採利用量または Schuetz が定義したように進級率と伐採利用率である。

以下に、この両エレメントについて統計的に有意義な客観的評価のできる方法を紹介する。

2.2.3 方法の発展

次に、試験林データに基づいて、相対的な伐採利用本数配分を導きだす。

2.2.3.1 相対的伐採利用量

相対的伐採利用量は胸高直径と目標直径の関数として表わされる。

$$m_i = \frac{m_i}{M} \rightarrow f(d_i, d_z) \quad (4a)$$

および $\sum_i m_i = 1$

$$\begin{aligned} \text{それゆえに} \quad m_i &= \frac{1}{M} (G_i - G_{i-1}), \\ m_i &= \frac{1}{M} (V_i - V_{i-1}) \end{aligned} \quad (4b)$$

ここで

- d_z 目標直径
- M 伐採利用量計
- m_i 直径階 i の伐採利用量
- m_i 直径階 i の相対伐採利用量

G_t 時点 t の林分断面積

V_t 時点 t の林分材積

2.2.3.2 直径成長曲線

Prodan が択伐林を平衡状態に導く直径成長曲線をはじめて導出した。直径成長曲線は直径の関数であると考えられている。

$$i_d = f(d) \quad (5a)$$

最小二乗法によるパラメータの通常の算定は、データのバラツキが外的因子の影響を受けていないことを前提としている。しかし、これまでの研究で、全ての測定値あるいは直径階についての残差のバラツキが大きいことが示されている。したがって、最小二乗法算定値はもはや最小分散を示すものではなく、計算された信頼限界は正しくない。それゆえに、次のような加重回帰式が導入されて、次の評価式が使われている。

$$= (d'V^{-1}d)^{-1}d'V^{-1}i_d \quad (5b)$$

$$V_{()} = (d'V^{-1}d)^{-1} \quad (5c)$$

ここで

$$V = \begin{pmatrix} w_1 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & w_2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & w_n \end{pmatrix} \quad \text{および} \quad w_i = \frac{1}{G_i}$$

また、

d 直径

i_d 直径成長

パラメータ

$V_{()}$ パラメータ の分散

G_i 樹木 i の断面積

2.3 林分成長のマトリックス法

Prodan の方法に基づいて、二つの新しいエレメントを持つ目標に沿った平衡曲線が計算される。もっとも現実に平衡状態になっている択伐林はきわめて少ない。実際に観察された直径階本数配分と平衡曲線の間齟齬はたった一回の介入によっては修正できない(図2参照)。上述の公式による平衡状態はその他の、ことに育林の観点からの手がかりではあり

うる。Schuetz によると、以下のような介入基準に注意すべきである。

- 林分の安定性
- 低価値材や病気の木を取り除くことによっていつも品質向上を図る
- 更新の促進
- 選抜と手入れ
- 構造管理
- 収穫の品目
- 強制伐採利用

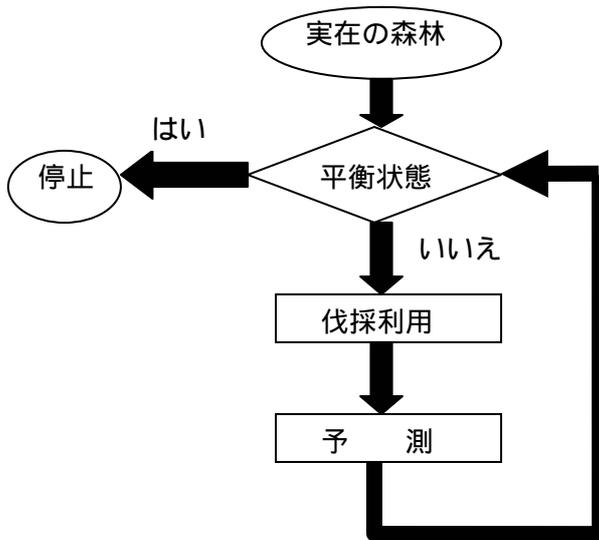


図2 実在の択伐林分管理過程

因子が多いことを考慮に入れると、種々の伐採利用の型に対する林分成長を予測することが必要になる。Prodan の差分法によってたしかに林分成長を描くことができるが、一番下の直径階へ上がってくる樹木については考慮しないままである。おまけに、長期間の平均値による直径成長曲線に基づいた方法は、異なった林分構造または林分密度について考慮していない。次のような動的マトリックス法 (SOLOMON ET AL.1986,に同類の公式) によってこの欠点が除かれる。

$$\begin{pmatrix} X_{1,t+} \\ X_{2,t+} \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{n-1,t+} \\ X_{n,t+} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{1,t} & & & & & \\ a_{1,t} & b_{2,t} & & & & 0 \\ & \cdot & & & & \\ & & \cdot & & & \\ & & & \cdot & & \\ & 0 & & a_{n-2,t} & b_{n-1,t} & \\ & & & & a_{n-1,t} & b_{n,t} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{1,t} - m_{1,t} \\ X_{2,t} - m_{2,t} \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{n-1,t} - m_{n-1,t} \\ X_{n,t} - m_{n,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{0,t} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6a)$$

ここで $a_{i,t} = f(G_{kum}(i,t))$ (6b)

$$E = \begin{pmatrix} a_{0,t} - m_{1,t} \\ 0 - m_{1,t} \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 - m_{n-1,t} \\ 0 = m_{n,t} \end{pmatrix}$$

3. データ資料と結果

この仕事に用いられたデータは森林地区 Wolfach にある択伐林試験地 15/2 から出たものである。立地条件と森林状態に関する情報は表 1 に掲載されている。

場所番号	15/2
広さ	0.6ha
森林地区	Wolfach
海拔高	760m.u.NN
降水量	1540mm
温度	6.8
地質	下部色付き砂岩
樹種	69% モミ、29% トウヒ、2% ブナ

表 1 森林地区 Wolfach の択伐林試験地 15/2 の概略

以下のデータは 1ha あたりに換算してある。

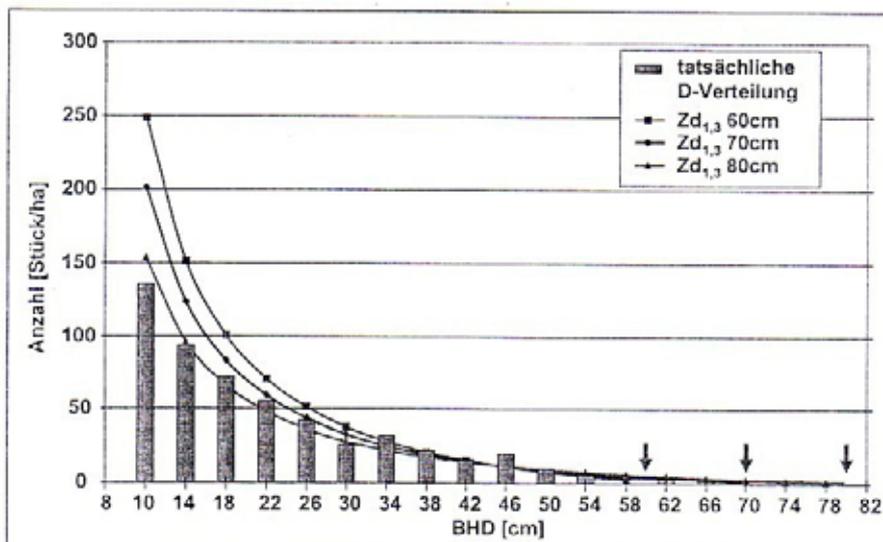


図 3 平衡曲線 択伐林 Plw15/2 モミ + トウヒ (目標直径 60,70,80cm)

(横軸 = 胸高直径、縦軸 = 本数/ha、凡例 = 上から実際の直径階別本数配分、zd = 目標直径)

図3に樹種モミとトウヒについて各胸高直径階ごとの実際の本数と目標直径60、70、80cmに対する平衡曲線を対比して示した。

計算された平衡曲線は、目標直径60、70、80cmとモミ、トウヒ、ブナの樹種混交状態に関連したものである。実際の択伐林構造は目標直径80cmの平衡曲線に適合している。目標直径が小さいほど、大きな小径木割合を必要とするようである。上図は、目標直径あるいは大径木割合が大きくなるにしたがって平衡曲線が、断面積または蓄積が同じである場合、よりフラットになることを示している。実際の断面積は24 m²/haである。曲線の上に出ている柱状図部分は理論的に伐採利用可能部分と理解される。

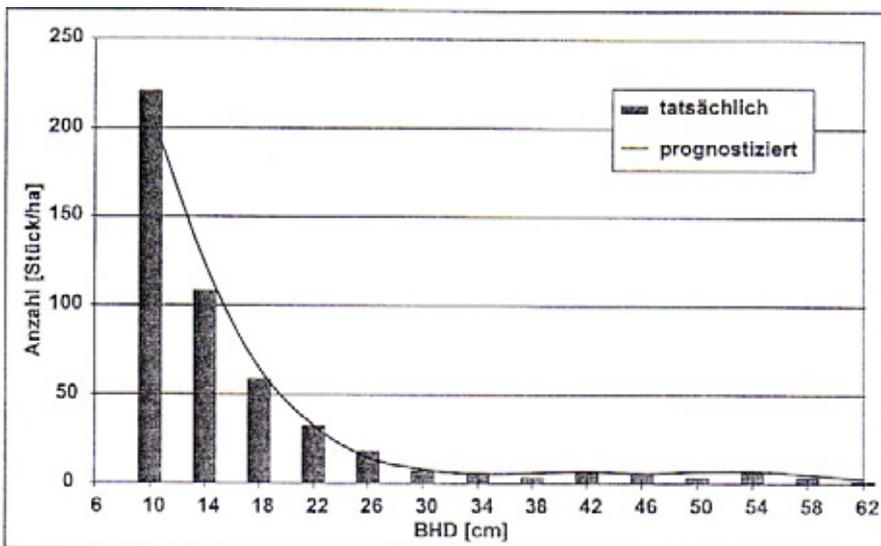


図4 計測されたものと予測された値の比較（択伐林 Plw15/2,1954-1960,モミとトウヒ）

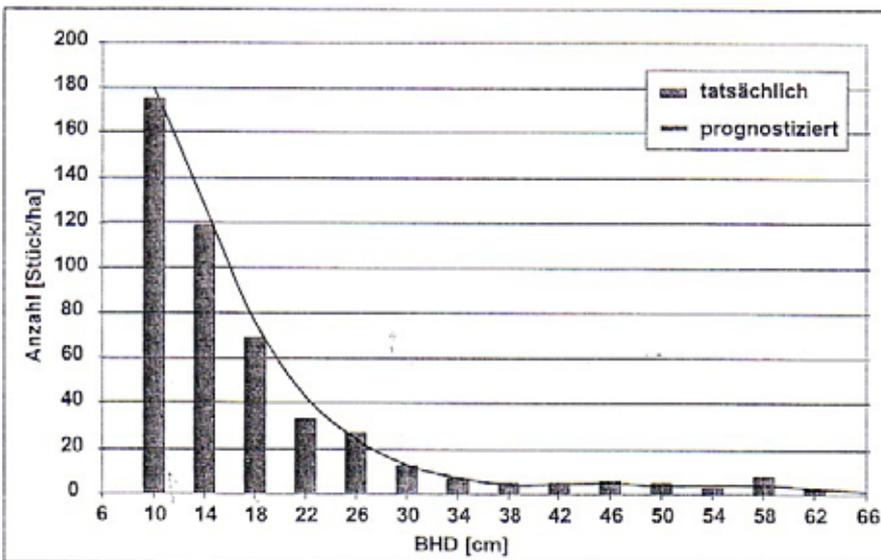


図5 計測されたものと予測された値の比較（択伐林 Plw15/2,1961-1967,モミとトウヒ）
 (横軸 = 胸高直径、縦軸 = 本数/ha、凡例 = 上から実際、予測)

図4、5に実際の樹木数本数配分と6年間隔で予測された本数配分値を対比させてある。統計的検定では、二つの曲線間に相違がないという帰無仮説は拒否できないという結果を与えた。ここにマトリックス法が信ずるにたるものであることが導かれた。

4 . 文献

Schuetz,J,-Ph:1975,Dynamique et conditions d'equilibre de peuplements jardines sur les station de la etraie a sapin. Schweiz.Z.Forstwes.126,9 :637-67

Schuetz,J,-Ph :1989,Der Plenterbetrieb.Unveroeff. Manuskript des Fachbereiches Waldbau der WTH Zuerich, Deutsch Uebersetzung von Diez,C. 54S

SOLOMON,D.S.,R.A.Hosmer,and H.T.Hayslett,Jr.1986:A two-stage matrix model for predict in growth of forest stand in the northeast.Can.J.For.Res.16:521-528

5 . 付録

Schuetz(1975)による

進級率 Einwuchsrate p_i =年あたり、ひとつ上の直径階に進んだ本数のパーセンテージ
伐採利用率 Nutzungsrate e_i =年あたり、伐採利用などで取り除かれた本数のパーセンテージ

$$p_i = \frac{X_i \cdot z_i \cdot T}{T \cdot X_i} = \frac{z_i}{b}, \quad e_i = \frac{m_i}{X_i \cdot T}$$

それで

$$\begin{aligned} X_{i-1} &= X_i \frac{p_i + e_i}{p_{i-1}} \\ &= X_i \left(\frac{z_i}{b} + \frac{m_i}{X_i \cdot T} \right) / \left(\frac{z_{i-1}}{b} \right) \\ &= X_i \left(\frac{z_i}{b} + \frac{m_i}{X_i \cdot T} \right) \cdot \left(\frac{b}{z_{i-1}} \right) \\ &= X_i \frac{z_i}{z_{i-1}} + \frac{m_i \cdot b}{z_{i-1} \cdot T} \end{aligned}$$