

林木の生長に関する理論的考察

Log - Mitscherlich式の理論

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	箕輪,光博
発行元	日本林學會
巻/号	64巻12号
巻号補足	
掲載ページ	p. 461-467
発行年月	1982年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

林木の生長に関する理論的考察 (I)

log-MITSCHERLICH 式の理論

箕輪 光 博*

箕輪光博: 林木の生長に関する理論的考察 (I) log-MITSCHERLICH 式の理論 日林誌 64: 461~467, 1982 自己間引を起こしている同齢単純林の生長過程を理論的に検討した。はじめに, KHILMI の自己間引本数曲線モデルと REINEKE の経験則を結びつけることにより, GOMPERTZ 式に新しい見方を導入し, それを MITSCHERLICH 式の拡張として log-MITSCHERLICH 式と名づけた。ついで, log-MITSCHERLICH 式理論と logistic 理論を, 相対生長則や密度効果式に照らして比較検討し, 両者の論理構成に差異のあることを明らかにした。最後に, log-MITSCHERLICH 式を介して, 最多密度 (full density) に到達するまでの自己間引現象と最多密度曲線上の自己間引現象を統一的に説明するモデルが誘導できることを示した。

MINOWA, Mitsuhiro: A theoretical approach to forest growth modeling (I) The log-MITSCHERLICH theory J. Jap. For. Soc. 64: 461~467, 1982 A new approach to modeling forest growth for even-aged pure stands under self-thinning is described. First, a new version of the GOMPERTZ equation is given through a combination of KHILMI's self-thinning model and REINEKE's formula associated with fully stocked even-aged stands. This leads to a generalized MITSCHERLICH equation called the log-MITSCHERLICH equation. Second, a comparison between the log-MITSCHERLICH theory and the logistic theory is made in terms of allometry and the competition-density effect (C-D effect) equation, making clear the logical discrepancy between them. Finally, a self-thinning model covering both earlier stages and a full-density stage of forest growth is derived based on the log-MITSCHERLICH equation.

I. はじめに

自己間引の起こるような林分では, 生育するに従って本数が減少していくが, この減少の仕方には法則性がある。KHILMI (17)は, 同齢単純林の自己間引現象を二, 三の仮定と次元解析の手法に基づいて考察し, GOMPERTZ 型の本数減少曲線モデルを導いた。他方, REINEKE (8)は, 十分な密度 (full density) をもつ同齢林を対象に断面積平均直径と本数密度の関係を分析し, いわゆる REINEKE 式を明らかにした。この REINEKE 式は, full density curve (16) または最多密度曲線 (11) と本質的にはほぼ同一であり, この線上では継続的に自己間引が起こっている。したがって, KHILMI のモデルと REINEKE 式の間には, 自己間引という現象を介して密接なつながりがある。そこで, 本報では, 両者を結合することにより, 自己間引を起こしている林分の本数減少と平均直径等の生長を統一的に説明する生長モデルにつ

いて理論的に検討した。

まず第Ⅱ節において, KHILMI のモデルと REINEKE 式から GOMPERTZ 式型の断面積平均直径モデルが誘導されることを示し, これを MITSCHERLICH 式の拡張として log-MITSCHERLICH 式とよぶことにした。第Ⅲ節では, 相対生長則や逆数式型変換を媒介に, log-M 式と MITSCHERLICH 式, logistic 曲線との関係を考察した。ついで第Ⅳ節では, log-M 式の一般化を通じて, いわゆる競争効果 (C-D effect) のべき乗式が導かれることを示した。最後に, 最多密度曲線に到達するまでの自己間引現象と最多密度曲線上の自己間引現象を統一的に記述する自己間引モデルを導いた。

II. log-MITSCHERLICH 式型生長

対数変換したある量が MITSCHERLICH 式に従う場合を考える。つまり

$$\ln X = (1 - L \cdot e^{-kb}) \ln M \quad (1)$$

* 三重大学農学部 Fac. of Agr., Mie Univ., Tsu 514

微分形で表わすと

$$\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = kL \cdot e^{-kt} \ln M \quad (2)$$

または

$$\frac{d}{dt}(\ln X) = k(\ln M - \ln X) \quad (3)$$

となる。ここで、 k , L , M はパラメータで、とくに M は $t \rightarrow \infty$ としたときの X の上限値を表わす。

さて、(3) の微分方程式から変量 X は、GOMPERTZ 式に従うことがわかる。ここでは、あとの展開を考えて、(1) 式を log-MITSCHERLICH 式 (略して log-M 式) とよぶことにする。log-M 式の特徴の一つは、MITSCHERLICH 式の性質からわかるように、対数定差図 (両軸を対数とする定差図) 上で直線となることである。もう一つの特徴は、 $Y = AX^B$ 型の変換に対してその形を保存することである。この変換は、 Y の相対生長率が X のその B 倍であることを示しており、(2) 式から Y 自体も log-M 式に従うことは明らかである。すなわち、

$$\ln Y = (1 - L' \cdot e^{-kt}) \ln M' \quad (4)$$

ここで

$$M' = AM^B, \quad L' = LB(\ln M / \ln M') \quad (5)$$

である。

(5) 式から、変換式に含まれるパラメータ A と B が log-M 式のパラメータ M , L に対してどのような働きをなすかがわかる。この変換過程で注目すべき点は、(3) と (4) 式に含まれるパラメータ k が両式に共通であるということである。この性質は、log-M 式を用いて林木の生長を解析する上で重要である。というのは、末田ら (14) も指摘しているように、 k の値は相対生長率と次の関係にあるからである。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \right) / \left(\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \right) = -k$$

この関係は、(2) 式を微分することによって簡単に得られる。MITSCHERLICH 式と log-M 式の違いは、前者では生長率が、後者では相対生長率がそれぞれ指数関数的に変化するところにある。

次に、log-M 式に従う例として、KHILMI の自己間引 (self-thinning) 曲線 (17) をとりあげる。本数密度 (ha 当りの本数) N に関する原方程式は、

$$\frac{d}{dt}(\ln N) = \alpha(\ln N_* - \ln N) \quad (6)$$

または

$$N = N_* \left(\frac{N_0}{N_*} \right)^{e^{-\alpha(t-t_0)}}$$

で与えられる。ここで、 N_0 , N_* はそれぞれ自己間引過程の始点における初期林分密度と終点の限界密度であ

る。閉鎖状態が十分に進み、種内競争が激しくなると自己間引が起こり、おのずから密度の調節が行われる。つまり、各生育段階に応じて密度の上限 (最多密度) が存在し、自己間引はこの最多密度を保持しながら進行し、ついにはその速度がゼロとなって本数密度は一定値 N_* に達するわけである。もちろんその後も本数の減少は起こりうるがそれは自己間引以外の原因による。KHILMI は、マツとトウヒ林を対象にパラメータ N_* と α の値を検討した結果、限界密度 N_* は地位に依存しその値は地位が悪くなるにつれて大きくなること、他方自己間引係数とよばれる α の値は樹種にのみ依存し地位とは独立であることを明らかにした。KHILMI は、(6) 式の形の微分方程式を二、三の仮定と次元解析の手法を用いて導いたが、これは明らかに log-M 式である。次に、この KHILMI の式が $Y = A(N)^B$ 型の変換を通じてどのように変換されていくかを考察することにした。

前述したように、現実林の本数密度にはその生育段階に応じた上限の密度があるが、この上限の密度に達した林分の平均直径等と密度の間には一定の関係が認められる。このような関係を最初に示したのは REINEKE (8) で十分な密度 (full density) を持った林分の断面積平均直径 D_b と acre 当りの本数を両対数軸上にプロットすると、それぞれの直径に応じてとりうる最大本数密度 (maximum number of trees) の関係は、林齢と地位に関係なく同一の傾きをもった直線で表わせることを示した。すなわち、

$$\log N = -1.605 \log D_b + K \quad (7)$$

ここで、 K は樹種によって決まる定数である。わが国の主要樹種についても平均胸高直径と密度について同様の直線が求められている (9)。たとえば、スギについては、

$$\log N = -1.6307 D + 5.5100$$

等がその例である。

さて、(7) 式は適当な定数の置き換えによって

$$D_b = A(N)^B \quad (8)$$

と表わすことができる。いま、生育段階の最多密度に達した、つまり (6) の KHILMI 式と (8) の REINEKE 式を同時に満たす林齢 t の林分を考える。その密度を N とし、この密度に対応する断面積平均直径 D_b (その密度での最大直径) が (8) 式で与えられるとすると、前述の変換論によって D_b も log-M 式に従うことになる。すなわち、

$$\ln D_b = (1 - L'' \cdot e^{-\alpha t}) \ln M'' \quad (9)$$

ここで、 M'' , L'' は定数である。また α は、KHILMI 式で定義されている自己間引係数である。このように (6) 式から (9) 式への変換を通じて自己間引係数 α は変わら

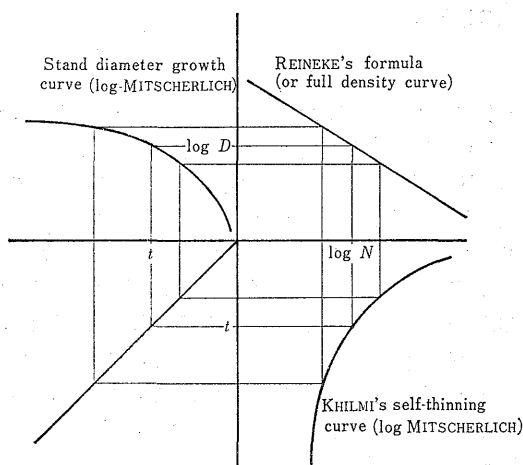


図-1. KHILMI の本数曲線, REINEKE 式, 断面
積平均直径曲線間の関係

The relationship among KHILMI's self-thinning
curve, REINEKE's formula, and the stand
diameter growth curve

ない。この変換の過程を図-1 に示す。この図より、林齢 t 、密度 N 、断面積平均直径 D_b の関係がよくわかる。 x, y 両軸の正の部分は対数軸、負の部分は時間軸で、見やすくするため第三象限の 45° 線上に時間を目盛っている。したがって、第一象限、第二象限、第四象限の直線もしくは曲線は、それぞれ REINEKE 式 ((8) 式)、断面積平均直径 D_b に関する log-M 式 ((9) 式)、密度 N に関する log-M 式 ((6) 式) を表わす。なかでも最も重要なのは、第一象限の REINEKE 式で、これは後述の密度管理図の最多密度曲線に対応している。これに対して、第二象限や第四象限の時間方向の曲線については、KHILMI が自己間引曲線を明らかにしたもの、第一象限の REINEKE 式との関係が明確でなかった。本報の一つの特徴は、この三つの象限間の関係、つまり林齢 t を媒介とする本数密度曲線、断面積平均直径曲線、REINEKE 式の関係の有機的に示した点にある。

III. log-M 式の性質

MITSCHERLICH は、古くから農学で知られた収量漸減の法則を定式化して、ある土壌要因の量 f が変化するとき、植物の個体重 w は

$$w = M(1 - e^{-kf}) \quad (10)$$

で与えられるとした (5)。 M は w の上限値、 k はその要因に固有な Wirkungsfactor とよばれる定数である。彼は、(10) 式を満足する生長要因として、個体密度や時

間までを含め、この式を統一的な生長理論の基礎におこうとした。しかし、吉良ら (6, 7) は種内競争による収量密度効果の研究に MITSCHERLICH 式を適用し、要因に固有であるべき k の値が密度に依存していることや収量が必ずしも (10) 式に従って増加しない点等を指摘した。さらに篠崎、吉良ら (12) は、新しい立場から生長理論の研究を進め、いわゆる logistic 理論とよばれる生長の統一理論を明らかにした。

さて、前節に述べた log-M 式は、上述の MITSCHERLICH の理論や logistic 理論にいくつかの点で関係がある。まず、次の形の log-M 式

$$\ln w = (1 - e^{-kf}) \ln M \quad (11)$$

は、(10) 式の拡張形であり、要因 f 方向の相対生長変換 (allometry) に対して、その形を変えないことを示そう。 w と相対生長関係にある量を x とすると、 $x = Hw^h$ (H と h は定数) であり、これを微分形で表わすと、

$$\frac{1}{x} \frac{dx}{df} = h \cdot \frac{1}{w} \frac{dw}{df}$$

となるので、前節と同様の議論によって x も (11) 式と同じ型の log-M 式に従うことになる。これに対して、MITSCHERLICH 式や要因方向の逆数式は、相対生長変換に対してその形を保存できない。つまり、要因方向の逆数式

$$\frac{1}{w} = \frac{A'}{f} + B' \quad (A', B' \text{ は定数}) \quad (12)$$

に対して、 $x = Hw^h$ なる変換をほどこすと、もはや x は (12) 式の形の逆数式を満たさない (12)。同式を保存できるのは、次の逆数式型変換

$$\frac{1}{x} = \frac{H}{w} + h$$

のみである。

以上のように、重要な相対生長関係を保持できるのは、log-M 式のみであり、この点において、MITSCHERLICH 式や逆数式よりも優れているといえよう。とくに、これまで要因 f 方向の相対生長に対してその形を保存するような生長式が知られていなかったように思われるので、(11) 式を MITSCHERLICH 式の拡張という意味で log-M 式とよんでよいと思われる。どちらかといえば、これまでは MITSCHERLICH 式の拡張や適用は時間方向に限られていたが、今後は要因方向、たとえば地位方向の生長研究に log-M 式を使用できる可能性が生まれたといえよう。

log-M 式の時間方向の特性については、すでに前節で述べたが、ここで対数定差図上での直線性について付言しておきたい。(1) 式からべき乗式

$$X(t+1) = A \cdot X(t)^B$$

または,

$$\ln X(t+1) = (1-e^{-k}) \ln M + e^{-k} \ln X(t)$$

が容易に得られる。ここで

$$A = (M)^{(1-e^{-k})}, B = e^{-k}$$

である。この両対数軸での直線関係、つまり対数定差図上での直線性は、両対数軸で直線を示す相対生長関係の時間軸への直接の反映と考えられる。相対生長の法則が重要であるのは、一つには理論的に簡明であり、またその取り扱いが容易であるからであるが、なによりも、それは普遍的な法則だからである。同様に、この log-M 式のもつ相対生長則類似的簡単な性質は、林木の生長を記述するうえで有効であろう。

末田ら (14) は、3種の理論式、MITSCHERLICH 式、logistic 式、GOMPertz 式をシロトウと 84 個体の胸高半径生長にあてはめ、各曲線式の妥当性を検討した。それによれば、あてはめという点では MITSCHERLICH 式が最も容易であり、あてはまりの程度は GOMPertz 式が最も優れていたという。他方吉田 (19) は、general MITSCHERLICH 式、general logistic 式、GOMPertz 式を約 80 本のスギ単木の樹高と胸高直径生長にあてはめ、あてはまりのよさを検討した。その結果、あてはまりの傾向は樹高と胸高直径で異なり、前者では GOMPertz 式が、後者では general MITSCHERLICH 式が優れていたと報告している。両者の研究で共通している点は、樹高と直径の違いはあるにせよ、GOMPertz 式、すなわち本報でいう log-M 式のあてはまりが比較的好かったということである。これは log-M 式が、要因方向、時間方向の $Y = AX^B$ 型の変換に対して不変であるという性質の一つの表われであろう。換言すれば、log-M 式型の生長モデルは KHILMI の自己間引モデルと REINEKE の経験則を土台としており、断面積平均直径と相対生長関係にある量はすべて log-M 式に従うことになるからである。さらにこの log-M 式は自己間引林分に対してだけでなく、通常の施業がなされている現実的林分に対してもほぼ成り立つことが、既存の収穫表の分析や東大千葉演習林の固定試験資料の解析から確かめられている (10)。これは図-1 の三つの曲線の関係が、平均的管理 (施業) がなされている林分に対しても成り立つことを意味する。以上のような点から考えて、log-M 式のあてはまりのよいことが、理論的にうなずけるのである。

IV. KHILMI のモデルから C-D 効果のべき乗式へ

篠崎ら (12) は、自己間引の本数曲線を誘導するに当た

って、個体密度が時間とともに変化しない場合の密度効果の逆数式

$$\frac{1}{w} = A\rho + B \quad (13)$$

を仮定している。ここで、 w, ρ はそれぞれ時間 t における実現平均個体重、実現個体密度である。また、 A, B は時間の関数である。(13) 式は、本来、ダイズ等の栽培実験から出発して、いくつかの仮定と logistic 曲線を基に導かれたもので、(13) 式中の個体密度 ρ は時間に対して不変な栽植密度そのものである。したがって個体密度が時間とともに減少する自己間引現象の解析に、(13) 式が使用できるという理論的根拠は存在しない。つまり、(13) 式は単なる経験式である。さらに、彼らは自己間引本数曲線の誘導に当たって、実現密度 ρ と初期密度 ρ_i との関係式

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_i} + \varepsilon(t) \quad (14)$$

を仮定している。 $\varepsilon(t)$ の逆数は時間断面での ρ の上限値を与える。依田ら (18) の実験から $\varepsilon(t) = p(e^{\mu t} - 1)$ (p, μ は定数) の成立することが経験的に確認され、結局自己間引本数曲線の一例として

$$\rho = \frac{\rho_i}{1 - p\rho_i + p\rho_i e^{\mu t}}$$

が得られている (2)。

上記の自己間引本数曲線誘導の論理の流れは、logistic 曲線の仮定、密度効果の逆数式の誘導、その自己間引現象への適用、自己間引本数曲線の導出となっている。これに対して、本報の論理は、KHILMI の自己間引モデル、REINEKE の経験則 (または 3/2 乗則)、断面積平均直径 (または平均幹材積) に関する log-M 式の誘導というように、自己間引現象の分析を出発点にしている。前者 (logistic 理論を土台とする考え方) と後者 (本報の考え方) はまったく対照的な関係にある。そこで、両者の違いをいっそうはっきりさせるために、log-M 式から密度効果のべき乗式 (6) とよばれる

$$w\rho^a = K = \text{const} \quad (15)$$

が導かれることを示そう。

いま、(3) 式の微分方程式を一般化した

$$\frac{d(\ln w)}{dt} = k(t)(\ln W(t) - \ln w)$$

を考える。これは容易に積分できて、

$$\ln w = e^{-\tau} \left(\int e^{\tau} k(t) \ln W(t) dt + \ln w_0 \right) \quad (16)$$

となる。ただし、

$$\tau = \int_0^t k(t) dt, \quad w_0 = w(0)$$

である。個体密度 ρ が KHLMI 式に従って減少し、同時に REINEKE 式を満たす場合には、 ρ も平均個体重 w も $k(t)=k$, $W(t)=W$ (k, W は定数) なる単純な log-M 式に従う (第 II 節参照)。次に、 ρ が時間とともに変化しない比較的静的な個体群を考える。この場合の w の時間的変化は、 $k(t)$ や $W(t)$ を適当に選ぶことにより、上記の一般化された log-M 式で表わすことができる。さらに、篠崎ら (12) と同様に

$$\begin{aligned} 1) \quad \partial k / \partial \rho &= 0 & 2) \quad \partial w_0 / \partial \rho &= 0 \\ 3) \quad W(t)\rho &= Y(t), \quad \partial Y / \partial \rho &= 0 \end{aligned}$$

なる仮定を設けると、(16) 式より

$$\begin{aligned} \ln w &= e^{-\tau} \left(\int e^{\tau} k(t) \ln Y(t) dt \right. \\ &\quad \left. - \int e^{\tau} k(t) \ln \rho dt + \ln w_0 \right) \\ &= A - a \cdot \ln \rho \end{aligned}$$

となり、さらに変形すると (15) 式の形のべき乗式となる。ただし

$$\begin{aligned} A &= e^{-\tau} \left(\int e^{\tau} k(t) \ln Y(t) dt + \ln w_0 \right) \\ a &= e^{-\tau} \int e^{\tau} k(t) dt \end{aligned}$$

である。上記の三つの仮定の中で、3) の仮定は、収量 $Y(t)$ が初期密度 ρ に依存しないことを示し (最終収量一定の法則)、上記のべき乗式誘導に当たって最も重要な役割をはたしている。(15) 式の a, K は時間のみの関数で、とくに a は C-D 定数と名づけられ、通常は $a=0$ ($t=0$ のとき) から $a=1$ ($t=\infty$) までの値をとる (6)。たとえば、近似的に w が $k(t)=k$, $W(t)=W$ の単純な log-M 式に従う場合は、 a の関数形は

$$a = 1 - e^{-kt}$$

なる MITSCHERLICH 型の簡単な式となる。

以上のように、本法の論理の流れは、KHLMI の自己間引モデル、REINEKE の経験則 (3/2 乗則に相当)、平均量 (断面積平均直径もしくは平均個体重) に関する log-M 式の誘導、C-D 効果のべき乗式の誘導というように、logistic 理論のそれとはまったく逆になっている。とくに、自己間引現象の背後にある log-M 式の生長モデルから、C-D 効果のべき乗式が導かれることに注目する必要がある。

V. 自己間引モデルの誘導

第 II 節で導いた log-M 式は、十分に閉鎖した林分が最多密度曲線 (ここでは REINEKE 式) 上に沿って継続的に自己間引を起こしている場合の生長モデルである。しかし、只木 (16)、安藤ら (1) が指摘したように、自己

間引は林分が最多密度曲線上に到達する前から起こっている。そこで、本節では、最多密度曲線上に到達する前の自己間引と到達した後の自己間引を統一的に説明するモデルについて検討する。

只木 (16) は自己間引を起こしている林分において、 w (平均個体重=平均幹材積) と ρ (個体密度=立木本数密度) の間には、

$$\frac{1}{\rho} = aw + c \quad (17)$$

なる関係のあることを見いだした。他方、篠崎は、前節の (13), (14) 式を前提とする自己間引本数曲線モデルを検討し、ある条件下では (17) 式の只木モデルが誘導できることを示した (2)。只木のモデルは、最多密度曲線上に到達する前の自己間引現象をよく説明できるが、3/2 乗則線に沿っての自己間引現象を十分説明できない (2)。最近穂積 (3, 4) は、只木モデル、篠崎モデル等を包括し、同時に 3/2 乗則をも説明しうる自己間引モデルを提案した。穂積の新しいモデルは、篠崎らのモデルと同様、前節の (13), (14) 式を基本的に前提している。すでに指摘したように、両式は経験式であり、それらを前提とするかぎり自己間引現象への理論的アプローチには限度があるように思われる。

次に、log-M 式を基軸とした自己間引モデルの誘導について述べる。はじめに次の仮定を設ける。

- 1) 林齢 t の林分は、最多密度曲線に平行なある曲線 (両対数軸上では直線)

$$w(t)\rho(t)^{\beta} = K(t) \quad (18)$$

上にある。ここで β は最多密度曲線の傾きを表わす定数である。

- 2) (18) 式中の $K(t)$ は、時間の経過とともに増大し、 $\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) = K_*$ (定数) となり、(18) 式は最多密度曲線に一致する。ここでは、簡単のために、

$$K(t) = K_* \left(\frac{K_0}{K_*} \right) e^{-\gamma t} \quad (19)$$

なる log-M 式を仮定する。ただし、 $K_0 = K(0)$ 。また γ, k は生長速度に関するパラメータである。

- 3) 密度 $\rho(t)$ は、(6) 式の形の log-M 式

$$\rho(t) = \rho_* \left(\frac{\rho_0}{\rho_*} \right) e^{-kt} \quad (20)$$

に従う (KHLMI の自己間引本数曲線)。

まず、仮定 3) から

$$e^{-kt} = \frac{\ln(\rho(t)/\rho_*)}{\ln(\rho_0/\rho_*)} \quad (21)$$

これを、(19) 式に代入して両辺の対数を取り、さらに、

(18) 式に代入して両辺の対数をとると、

$$\ln w(t) = \ln K_* - \beta \cdot \ln \rho(t) - \left[\frac{\ln \rho(t)/\rho_*}{\ln(\rho_0/\rho_*)} \right]^r \ln(K_*/K_0)$$

となる。ここで、 $y_t = \ln w(t)$, $x_t = \ln \rho(t)$, $\delta_t = \ln K(t)$ とおくと、上式は、

$$y_t = \delta_* - \beta x_t - \left(\frac{x_t - x_*}{x_0 - x_*} \right)^r (\delta_* - \delta_0) \quad (22)$$

となり、両対数軸上で比較的簡単な曲線となる。ただし、 $x_* = \ln \rho_*$, $\delta_* = \ln K_*$ である。

さて、(22) 式は、 $x_t \rightarrow x_*$ であるから十分に時間が経過すると

$$y_t \rightarrow \delta_* - \beta x_t, \text{ つまり } w(t) \rightarrow K_*/\rho^\beta$$

となって、最多密度曲線に一致する。また、

$$\frac{dy_t}{dx_t} = -\beta - r \left(\frac{x_t - x_*}{x_0 - x_*} \right)^{r-1} (\delta_* - \delta_0)$$

であり、これに (21) 式を代入すると、

$$\frac{dy_t}{dx_t} = -[\beta + r(\delta_* - \delta_0)e^{-(r-1)kt}] \quad (23)$$

となる。(23) 式より、時間が十分経過すると、 $r > 1$ という条件のもとで (22) 式の傾きは $-\beta$ に収束し、最多密度曲線の傾きに一致する。さらに、 r の値が大きいくほど、また差 $(\delta_* - \delta_0)$ もしくは比 K_*/K_0 の値が小さいほど、(22) 式で表わされる w - ρ 曲線は早く最多密度曲線に到達することがわかる。 r という量は、密度の減少速度と (18) 式で示される曲線の w -方向への上昇速度との関係を表わしているので、 r の値が大きいくほど、つまり最多密度曲線に平行な曲線 (18) 式の w -方向への上昇速度が大きいくほど、最多密度曲線への到達が早くなるのは当然である。

(22) 式は、最多密度曲線に到達する前とそれ以後の自己間引現象を統一的に説明する一つのモデルにすぎないが、SPURRら(13)のストロブマツの無間伐林分資料を用いて検討したところ、平均断面積 ($\bar{g}$) と立木本数 (ρ) の関係を示す $\bar{g}$ - ρ 曲線にはかなりの適合度を示した。この点の詳細な分析は、続報において行う予定である。

VI. おわりに

森林の自己間引は、除間伐や枝打ちと密接に関連する重要な現象である。また、森林の生長をモデル化するうえでも、基本的な研究対象の一つである。そのような意味において、自己間引現象のモデル化から出発した本報の log-M 式論は、ダイズ等の栽植実験からスタートした logistic 理論とは対照的である。前者は閉鎖後の森林を対象とする特殊な生長論であるが、相対生長則を拠

り所としている点において後者より一般的であるともいえる。

log-M 式に立脚した本報の自己間引モデルつまり w - ρ 曲線は、KHILMI の自己間引本数曲線モデル、REINEKE の経験則または 3/2 乗則、最多密度曲線に到達する前の自己間引現象を統一的に説明する生長モデルである。本モデル自体いまだ解決すべき問題をいくつか抱えているが、自己間引現象の解析に一つの手がかりを与えるものと思われる。引き続き、本モデルの現実の施業林への適用について検討していく予定である。

引用文献

- (1) 安藤 貴: アカマツ天然生除伐試験林の解析 (II) 本数密度を中心とした解析. 林試研報 147: 45~76, 1962
- (2) 穂積和夫: 植物の相互作用. 124 pp, 共立出版, 東京, 1978
- (3) Hozumi, K.: Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands (I) Mean plant-weight density trajectory during the course of self-thinning. Bot. Mag. Tokyo 90: 165~179, 1977
- (4) ———: Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands (II) Growth analysis of self-thinning. Bot. Mag. Tokyo 93: 149~166, 1980
- (5) 吉良竜夫編: 植物生態学 (II). 402 pp, 古今書院, 東京, 1963
- (6) KIRA, T., OGAWA, H. & HOZUMI, K.: Intraspecific competition among higher plants (II) Further discussions on MITSCHERLICH's law. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. D 5: 1~7, 1954
- (7) ———, ——— & SAKAZAKI, N.: Intraspecific competition among higher plants (I) Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. D 4: 1~16, 1953
- (8) REINEKE, L.H.: Perfecting a stand-density index for even aged forests. J. Agric. Res., 46: 627~638, 1933
- (9) 坂口勝美: 間伐の本質に関する研究. 林試研報 131, 1~95, 1961
- (10) 渋谷悟郎: 直径分布の変化に関する研究. 東京大学農学部林学科卒論, 1~138, 1982
- (11) 四手井綱英編: アカマツ林の造成—基礎と実際—. 326pp, 地球社, 東京, 1963
- (12) SHINOZAKI, K. & KIRA, T.: Intraspecific competition among higher plants (VII) Logistic theory of the C-D effect. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. Ser. D 7: 35~72, 1956
- (13) SPURR, S.H., YOUNG, L.J., BARNES, B.V. & HUGHES, E.L.: Nine successive thinnings in a Michigan white pine plantation. J. For. 55: 7~13, 1957
- (14) SWEDA, T. & KOIDE, T.: Applicability of growth equations to the growth of trees in stem radius (I) Application to white spruce. J. Jap. For. Soc. 63: 113~124, 1981
- (15) 只木良也: 競争密度効果を基にした幹材収収穫予測. 林試研報 154, 1~17, 1963

- (16) 只木良也・四手井綱英: 林木の競争に関する研究 (Ⅲ) アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験. 日林誌 44: 129~139, 1962
- (17) Хильми, Г. Ф.: Foundation of the physics of the biosphere. Leningrad, 1967 (太田邦昌監訳: 物理生態学序説. 237 pp, 築地書館, 東京, 1974)
- (18) YODA, K., KIRA, T., OGAWA, H. & HOZUMI, K.: Self-

thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. (Intraspecific competition among higher plants). J. Biol. Osaka City Univ. 14: 107~129, 1963

- (19) YOSHIDA, N.: Analysis of growth curve. J. Jap. For. Soc. 61: 321~329, 1979

(1982 年 2 月 19 日受理)

新刊紹介

○地域林業と国有林—林業事業体の展開と論理—

地域林業研究会編, 255 ページ, 日本林業調査会, 東京, 1982 年, 2,500 円

わが国の国有林は, 資源基盤の悪化と林業・山村をめぐる構造的不況のもとにあって, 減量型合理化への厳しい途を歩んでいる。国有林はわが国林業の最も中核となる事業経営体であり, とりわけ, 国有林地帯山村における林業構造は国有林野事業——これを支える林業事業体のあり方に深く規定されている。本書は, 国有林経営にあって重要な位置を占め, 現在大きく再編されようとしている林業事業体に焦点を当てながら, 国有林地帯における地域林業形成の方向を解明しようとしている。

研究に当たっては, 林業事業体の現われ方の差異を重視して国有林地帯を奥地山村, 近郊山村, 中間山村に類型化し秋田県角館, 高知県須崎, 茨城県高萩, 宮崎県都城, 福島県棚倉, 岩手県川尻の各営林署管内を調査, 分析対象としている。

各地域の調査結果からわかることは, 造林事業体は旧愛林組合系譜にたつものとそれ以外に分けられ, 前者では農民請負事業体, 個人企業体, 個人企業体の協同組合, 森林組合作業班等の形態が, また後者でも森林組合, 素材・製材業者, 農民共同出資, 個人企業形態など多岐にわたっている。また, 伐出事業体も元請事業体, 下請事業体, 下請事業体的性格をもつ機械持ち労働者等に分かれ, 内容的には木材・製材会社, 個人企業体およびそれらの協同組合や森林組合など, 広汎な形態をとっている。

こうした造林, 伐出作業請負の展開は林業における生産の集積, 社会的分化の過程としてとらえられる。国有林における請負事業の近代化は改善計画に基づく「よりよい請負」としての合理化路線に即応して進められているが, 請負事業体は組織としての自立化, 労働力再生産に必要な賃金水準の実現を果たしえない状態におかれているものが多い。

著者らは地域分析を踏まえながら, 国有林地帯における地域林業の組織化, その担い手としての林業事業体の位置づけについて問題提起を行っている。地域林業の組織化を国有林経営サイドの危機回避策としてとらえるのではなく, 国・民有林を含めた地域林業の振興に国有林としてどう関与するか, 具体的には農民的育林生産や中小製材加工, 小規模伐出生産等を擁護し, 林地や木材資源を資本による破壊から護りつつ地域住民の生産, 生活に役立つ林業構造形成, という視点に立脚すべきだと強調している。そのためには, 国有林を直営生産, 請負事業の相互関連を考慮しつつ, 各請負事業体間の調整について長期的な視点にたった基本的施策を確立すべきであり, 持続的・計画的生産を通じて事業の安定化, 林業労働力の確保を図る必要がある。国有林地帯におけるヴィジョンとしては, 単に育林, 伐出生産機能にとどまらず木材加工, 流通過程に至る担い手としても林業事業体は評価されるべきこと, また林業生産の担い手については, 森林組合等特定の事業体に限定するのではなく, 地域で現実に林業生産を担っている主体に即して構想されるべきだ, としている。

一方, 請負事業体サイドでも協議体, 会社法人化など協同化を進めるほか, 資本金の強化, 部分工程の担い手から総合的な林業生産を担いうる力量の強化, それらを促進する政策助成措置などが望まれている。

以上, 本書の内容について概略紹介してきたが, 本書は林業および山村経済発展の道標を現実生産を担う主体に即し, その主体的な展開条件にもとめようとしている。その問題意識を高く評価するとともに, ベールに包まれ容易に実態に接近しがたい国有林地帯の林業構造, 林業事業体に対し, かくも精緻な分析を試みられた労苦を多し, 深い敬意を表したいのである。

本書は笠原義人 (宇都宮大), 安藤嘉友 (林政総研), 鈴木 喬 (同), 松木洋一 (日本獣畜大), 仁平恒夫 (東大), 山田良治 (和歌山大) 氏ら, 地域農林業研究会員の共同執筆に成るものである。

(船越 昭治)