

# 大きい木や小さい木のあることが個々の木の 成長・枯死を決めている

菊 沢 喜八郎

## 森林の構造 - Y-N 曲線

森林を構成している樹木は、みな同じ大きさではない。たとえ一斉林であっても、個体サイズはずいぶん異なるのが普通である。そのような森林の構造を表現するには、大きい木から積算した木の本数 (N) と材積 (Y) の関係、Y-N 曲線、を用いるのが便利であることは何度か紹介してきた。表 - 1 は北海道有林 (岩見沢道有林管理センター) のウダイカンバ人工林の例である。個体を大きい木から順番に並べ、大きい木から積算した積算材積 (Y) と、積算本数 (N) を計算する。これを両対数グラフに打点すると図 - 1 のようなきれいな曲線が得られることが多い。多くの森林では

$$\frac{1}{Y} = \frac{B}{N} + A \quad (1)$$

という曲線が当てはまる。ただし、A と B は森林によって、また時点によって変わる定数で、パラメーターと呼ばれる。今後はこの曲線が当てはまることを前提にして話を進めよう。

Y-N 曲線は、両対数グラフ上では常に図 - 1 のような曲線となる。パラメーター A, B が変わっても、その形は変わらず、曲線の位置が変わるだけなのである。Y-N 曲線の位置はその B ポイントの位置 (N<sub>B</sub>, Y<sub>B</sub>) によって決まる。B ポイントの座標はパラメーター A, B によって次のように決まる。

$$N_B = B / A, Y_B = 1 / (2A) \quad (2)$$

今回のテーマは上に示したような森林の構造と、その動態とがどのようにかかわっているかにある。動態とは、時間の経過にともなう森林の変化、つまり樹木個体の成長と枯損、のことである。従来の研究では、森林を構成する個体を各サイズクラスに分け、サイズクラスごとの成長量、成長量の個体間のばらつき、そして死亡率をサイズの関数として与えてやると、動態のシミュレーションが可能であることが分かっている。この3つの関数のうち、成長が最も重

表 - 1 ウダイカンバ人工林における直径階毎の本数、材積と大きい木から積算した本数 (N) と材積 (Y)

直径階 cm	単材積 m <sup>3</sup>	本数 ha <sup>-1</sup>	積算本数 (N) ha <sup>-1</sup>	積算材積 (Y) m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
12	0.088	50	50	4.40
10	0.060	570	620	38.6
8	0.035	740	1360	64.5
7	0.021	1050	2410	86.5
6	0.011	1550	3960	103.6
5	0.004	1090	5050	108.0

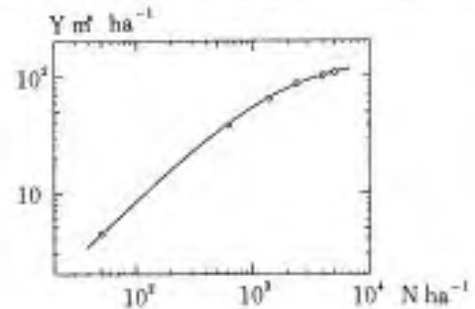


図 - 1 ウダイカンバ人工林における Y-N 曲線

表 1 のデータ - を両対数軸上に打点した。

要であると考えられる。期間中の成長量が決めれば次の時点での森林のサイズ構造が決定される。成長の遅れたものが枯死するものとすれば、動態が明らかになるはずである。

### 太い木ほどよく太る

木の「かたち」がだいたい相似形をしているものとする、大きい木も小さい木もその大きさに応じただけ成長するだろうと考えられる。成長率がほぼ一定になるわけだ。したがって、成長量は木の大きさに比例すると考えてよい(図-2a)。ところが、木が集って森林となっていると、事情は異なってくる。この場合、大きい木にはよく光が当たるが、小さい木は自分より大きい木に遮られて、十分に光が当たらない。したがって、小さい木

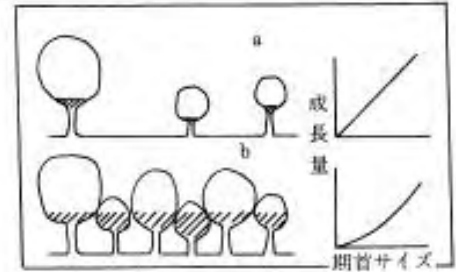


図 2 期首の個体サイズと成長量の関係を示す模式図

斜線部は光の当たらない部分

a : 個体間に競争がない場合。成長量はサイズに比例

b : 個体間に光をめぐる競争がある。小さい木ほど成長量が抑制される。

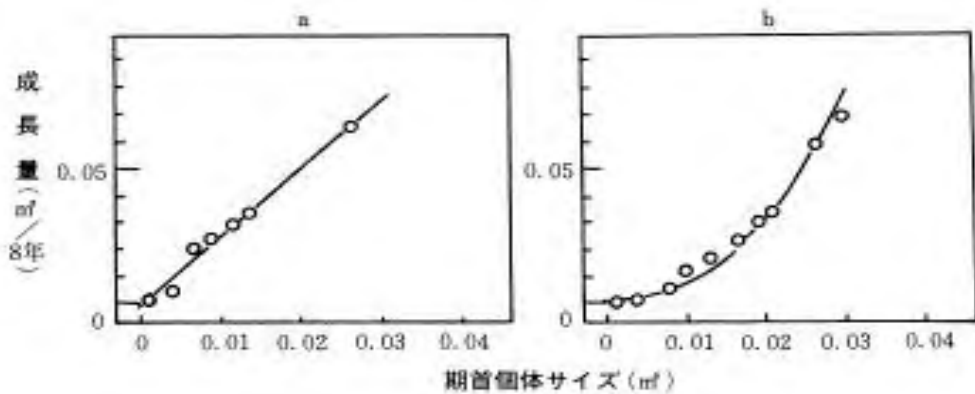


図 - 3

若いダケカンバ林における 8 年間の成長量と期首の個体サイズとの関係

a : 強度間伐区

b : 対象区

ほど成長量が小さいと予測される(図-2b)。若いダケカンバ林で成長量と初期サイズとの関係を調べてみると、無間伐の試験区では上の予想どおり大きい木ほど成長量大きいという、下に凸の曲線関係が得られている(図-3b)。ところが、きわめて強度に間伐した試験区では、どの木にも光が当たるので、ほぼ直線的な関係が得られている。(図-3a)。

### Y - N 曲線の移動

さて、上のように成長した場合に Y - N 曲線はどのように移動するのだろうか。図-3a のような場合は、成長量はサイズに比例する。つまりどの木でも成長率は一定であるということだか

ら，Y - N曲線上のどの点も一定の比率で上昇する。Y - N曲線は垂直上方に平行移動するのである（図 - 4a）。これに対して，図 - 3bのような成長をする場合には，大きい木の部分（Y - N曲線の左側部分）ほど大きく上昇することになるから，Y - N曲線は左上方向に移動することになる（図 - 4b）。若いダケカンバ林で10年間にわたって継続調査した例でY - N曲線のBポイントの移動を見ても，強度に間伐した試験区では真上方向への，無間伐林分では左上方向への，移動が見られている（図 - 5）。面白いことに無間伐林分の場合には，Bポイントの軌跡は，両対数軸上ではだいたい直線で，勾配が - 0.5 に近いのである。

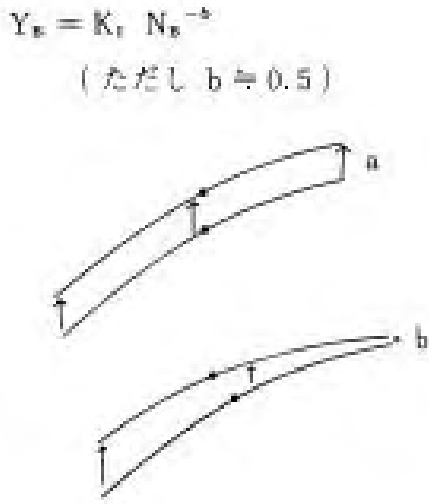


図 - 4 Y - N曲線の移動を示す模式図  
(黒丸はBポイント)

- a : 成長量がサイズに比例する場合(成長率一定)  
どの部分も同じ比率で増加(同じだけ上昇)するのでY - N曲線は垂直上方に移動
- b : 大きい木ほど成長量が多い場合  
Y - N曲線の左側が大きく上昇するので，  
Bポイントは左上方向に移動する。

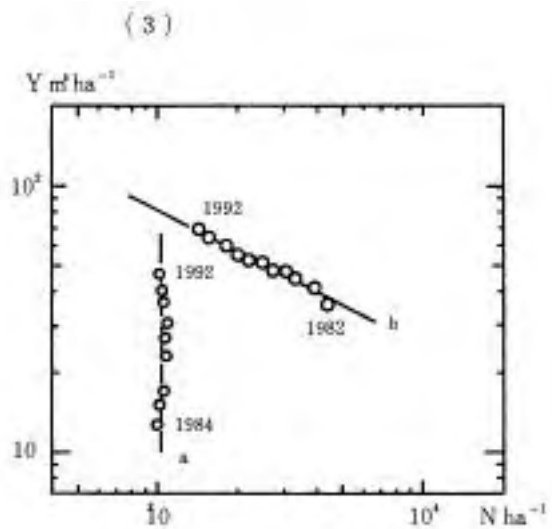


図 - 5 若いダケカンバ林におけるBポイントの移動経路

- a : 強度間伐区
- b : 対照区

### 自然枯死

Y - N曲線のBポイントが，図 - 5bのように直線上を推移する場合について考えてみよう。これは大きい木ほど成長率が高いのであったから（図 - 2，3b），逆に言うと，小さい木ほど成長率も成長量も小さくなる。どんどん小さい木へとたどると，ついには成長量が0になる木に到達する。成長量が0になる木は枯れるものとしておくと，枯損木がどれくらいであるかが自動的に分かるのである。この木が大きい方から数えて何番目の木かが分かれば，生残った木の本数と材積の関係も求めることができる。この方法を考えてみよう。

(1)式は積算本数と積算材積の関係を示すものであったから，これを変形すると，積算本数(N)と各個体材積(W)との関係も知ることができる。これは

$$W = \frac{B}{(AN+B)^2} \quad (4)$$

のようになる。ここに(3)式を代入すると，Bポイントが図 - 5bのような動きかたをする場合の，林分の個体材積(W)をその個体の順位(N)によって知る式が得られる。この式を時間(t)

方向に微分する。微分 ( $dw / dt$ ) が 0 になるところを求めれば、成長量が 0 になる条件を知ることができるのである。

計算の過程は省略するが、 $dw / dt = 0$  になる条件は、

$$Y_0 = K_2 N_0^{-b} \quad (5)$$

である。ただし  $Y_0, N_0$  は全個体の材積 (林分材積) と本数 (林分本数) である。(5) 式は (3) 式と全く同じ形式であることが分かる。すなわち (3) 式と (5) 式は両対数グラフ上では平行になるのである。 $dw / dt = 0$  になる条件は個体が枯死する条件であると考えたわけであったから、(5) 式は森林における自然枯死を示す線、すなわち自然枯死線であると考えてよい。実際に若いダケカンバ林で自然枯死線を求めると、B ポイントの軌跡とほぼ平行な線が得られている(図 - 6)。

従来、自然枯死線としては平均個体重 ( $W$ ) と本数 ( $N_0$ ) との関係として、

$$W = K_3 N_0^{-3/2} \quad (6)$$

のような関係が成立することが知られていた。なぜこれが成立つかといえは、平均個体サイズは長さ ( $L$ ) の 3 乗の次元 ( $L^3$ ) を持つのに対し、個体の占有面積は ( $L^2$ ) の次元を待つ。本数 =  $1 / (\text{占有面積})$  だから本数の次元は ( $L^{-2}$ ) である。本数と個体サイズの次元を比較すれば両者の関係は (6) 式のものでなければならない。これが従来の説明であった。

(6) 式を林分単位に変換すると

$$Y_0 = K_3 N_0^{-1/2} \quad (7)$$

となりこれは (5) 式と同一である。

しかしながら、森林は平均サイズの木のみから成立っているのではない。大きい木や小さい木が森林を構成することにより、個体間の成長量には大きな差が生じる。そして成長量が 0 になってしまった個体が枯死するのである。これが今回試みた自然枯死に対する新しい説明であった。すなわち、森林の構造が個体の成長や枯死を、ひとことではいえず森林の動態を、規定しているのである。

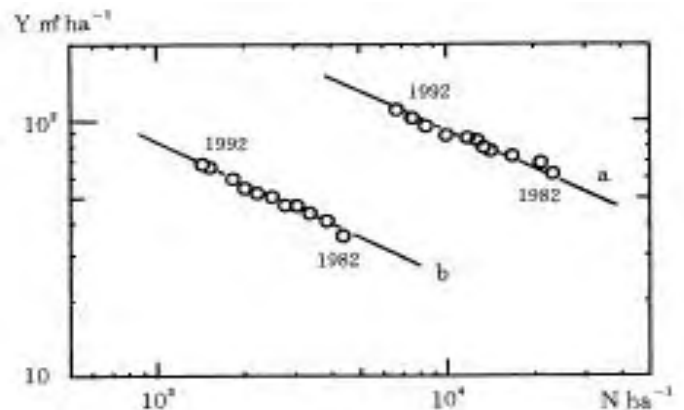


図 - 6

若いダケカンバ林における B ポイントの経路 (B ポイント線) と林分本数、材積を示す点の経路 (自然枯死線)

両者は傾きがほぼ - 0.5 で平行している。

( 森林資源部長 )