

森林生態学に基づいた津波防潮林の生長評価

鹿児島大学工学部海洋土木工学科 学生員 岩塚雄大

鹿児島大学工学部海洋土木工学科 正 員 浅野敏之

1. はじめに

2004 年のスマトラ沖地震津波では、沿岸部にマングローブが繁茂する集落で被害が大きく軽減されたと報告されている。こうした海岸林は普段は景観や環境保全に有用であり、稀に來襲する津波に対しても効果を発揮するから、環境・防災両面に役立つ魅力的な対策と言える。

しかし、既往の海岸工学分野の研究では、海岸林の樹林密度と樹高・幹径などの条件を独立に与え、海岸林の生態学的な特性を考慮していない。樹木群落の樹高・幹径・立木密度・葉や枝の割合などは時間（樹齢）の関数でもあり、津波防潮林としての機能も樹木群の時間的生長に支配されると考えられる。

本研究では、海岸林を津波防潮林として設計する上で、樹木群落の生長特性を考慮する必要があるとの観点に立って、津波防潮林の津波減衰機能の時間変化を考察した(向窪、浅野、2006)。ここでは生長特性についての考察を示す。

2. 自己間引き林分の生長モデル

2.1 数理生態学モデル

植物、動物の個体数や個体重は、環境の制約が無ければ指数関数的に増大する。すなわち、生物の個体重を x 、時間を t 、個体の生長率を λ とすると

$$\frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = \lambda \quad (1)$$

となる。有限の環境条件では生長の限界があり飽和する。 x の上限値を x_* とし、(1)式の x を $x_* - x$ で置き換えると、

$$\frac{dx}{dt} = -\lambda(x_* - x) \quad (2)$$

となり、この解は農学で古くから知られた収量漸減の法則を示す次式の Mitscherlich 式となる。

$$x = x_* \{1 - [1 - (x_0/x_*)] \exp[\lambda(t - t_0)]\} \quad (3)$$

ここに、添字 0 は初期値を示す。

(2)式で、 x を $1/x$ 、 x_* を $1/x_*$ と逆数変換を行うと、Logistic 型生長曲線の微分方程式が得られる。

$$\frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = -\lambda(1 - \frac{x}{x_*}) \quad (4)$$

この解は次式で与えられる。

$$x = \frac{x_*}{1 + x_0 \exp(-\lambda(t - t_0))} \quad (5)$$

一方、(2)式において $x \rightarrow \ln x$ 、 $x_* \rightarrow \ln x_*$ と対数変換を行うと、Gompertz 型生長曲線の微分方程式が得られる。

$$\frac{d \ln x}{dt} = -\lambda(\ln x_* - \ln x) \quad (6)$$

この解は、次式となる。

$$\left(\frac{x}{x_*} \right) = \left(\frac{x_0}{x_*} \right)^{\exp(\lambda(t - t_0))} \quad (7)$$

2.2 林分のシステム論的生長

林学では、樹種構成・年齢構成などにおいて均一で一つの単位となる森林部分を林分と呼ぶ。林分の生長に上限があるのは、個体間の密度効果と考えられる。樹木は動物と異なって動けないので密度効果はより明確な形で発現する。林木が生長し、隣り合う林木と樹冠部が接するようになると、種内競争が始まる。本来、生長そのものは(1)式のように個体重の大きいものほど生長量は大きくなる。1つの個体木が隣の個体より少し遅れた生長をとると太陽の受光量が少なくなり、その結果が累積して両者の差が開く。その結果、優勢木と被圧木が生じて自己間引きが発生する。

上記の Gompertz 型生長曲線(7)式は増加型と減少型の時間変化が表現可能である。Khilmi (1967) は、林冠閉鎖後の樹木密度 N の減少を(7)式と同型の次式で表した。

$$\left(\frac{N}{N_*} \right) = \left(\frac{N_0}{N_*} \right)^{\exp(-k(t - t_0))} \quad (8)$$

ただし、 N_0 、 N_* は、それぞれ、樹木密度の初期値、上限値、 k は λ の符号を変えたもので ($k = -\lambda$)、生長速度に関するパラメーターである。

自己間引きをしながら生長し、それぞれの生育条件での上限密度 N_* が実現されている純群落の樹木平均個体重 w と N_* の間には

$$wN_*^{3/2} = \text{const} \quad (9)$$

という最大密度曲線の $3/2$ 乗則が樹種を問わず広く成立する(依田、1971)。

林分の平均直径 d や平均樹高 h は、次元的考察から樹木個体重 w あるいは樹木幹体積 v と $w \sim v \sim d^2 \sim h$ の関係にあることから、式(9)を考慮すると最大立木密度 N_* に対して $d N_*^{1/2} = \text{const}$ 、 $h N_*^{1/2} = \text{const}$ となる。現実には自己間引きは最大密度曲線に到達する前から起こっている。図-1に、 $3/2$ 乗則を表す最大密度曲線と、生長とともにそれに至る間引きの経路を示す。

2.3 箕輪による樹林密度・単木直径間の時間発展モデル

海岸林の津波防潮林としての機能を時系列的に評

価する場合には、上記の樹木個体間の競合開始から最大密度に至るまでの林分生長過程をモデル化する必要がある。箕輪(1982)は、林齢 t とともに変化する平均幹材積 $v(t)$ と樹木密度 $N(t)$ の関係を記述する理論を展開した。まず両者の関係を(9)式を修正した次式で表す。

$$v(t)N(t)^{\beta} = K(t) \quad (10)$$

ここで、 β は両対数紙上での最多密度曲線の傾きを表す定数で、樹種によって特有の値をとるとされる。最多密度曲線に達すると式(10)に示すように $\beta=1.5$ となる。さて、上式 $K(t)$ は時間とともに増大し $\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) = K_*$ の定数となる。 $K(t)$ の時間発展を

$$K(t) = K_* \left(\frac{K_0}{K_*} \right)^{\exp(-\gamma t)} \quad (11)$$

で表し (γ は生長速度に関係するパラメータ)、また樹木密度 $N(t)$ も同様に式(8)の Gompertz 式に従うと仮定する。式(8)より

$$\exp(-\gamma t) = \frac{\ln(N(t)/N_*)}{\ln(N_0/N_*)} \quad (12)$$

これを式(11)に代入して両辺の対数を取り、さらに式(10)に代入して両辺の対数をとると、次式の $v(t)$ と $N(t)$ のトラジェクトリを表す式が得られる。

$$\ln v(t) = \ln K_* - \beta \ln N(t) - \left(\frac{\ln N(t)/N_*}{\ln(N_0/N_*)} \right)^{\gamma} \ln(K_*/K_0) \quad (13)$$

ここで、右辺最終項は林分が最多密度に至る時間的変化をあらわす。十分時間が経過するとこの項は0に近づき、式(9)の最多密度曲線に漸近する。

3. 海岸防災林への森林生長モデルの適用

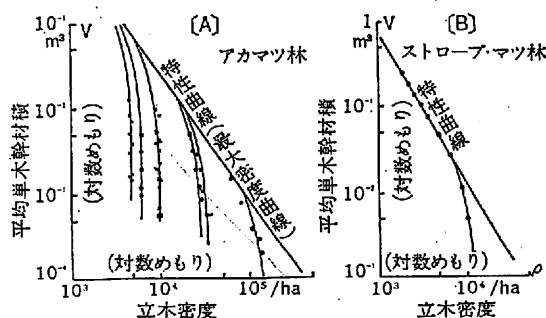


図-1 自己間引きの 3/2 乗則を表す特性曲線と生長とともに特性曲線に至る間引きの経路 (依田、1971)

まず、理論の前提条件に近い理想的な森林に対して、箕輪モデルの適用性を検討した結果を示す。

図-2 はストローブマツの単純木・無間伐林分のデータに基づいて箕輪が(13)式の適用性を検討した結果を、再整理して図に表現したものである。図-2 から、理論値の曲線は一部パラメータにチューニングを加えているとはいえ、自己間引きを起こしながら生長を続け最多密度曲線に至る林分の観測データを高精度で再現している。こうした理想的な環境下の林分に対して理論値は実測値をよく説明することがわかる。

次に、渡辺ら(1987)が福島県の全 67 箇所のクロマツ海岸林に対して行った観測データを用いて、箕輪モデルの適用性を検討した。図-3 に樹木密度と平均幹材積の関係について観測値とモデルによる計算値を比較した結果を示す。ここで調査した海岸林は、人工間伐の施業も一部なされている。さらに林分によって土壌条件に優劣があり、潮風害・虫害などの影響も混入していると考えられる。これらを考慮すると、図-3 の計算値は観測データを概ね説明していると考えて良いと思われる。

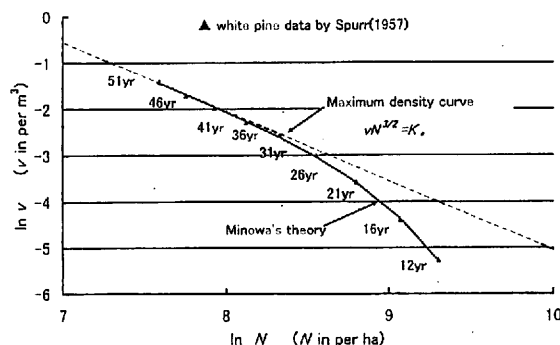


図-2 箕輪の理論の単純木・無間伐林分データへの適用

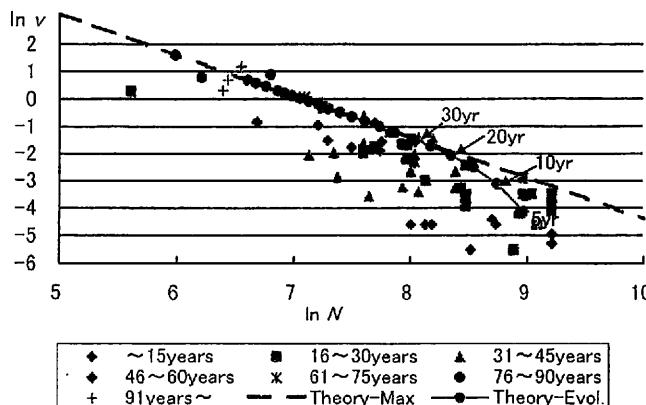


図-3 福島県の海岸林データに対する自己間引きモデルの適用性の検討