

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21780142

研究課題名 (和文) 天然林の寿命分布の推定

研究課題名 (英文) Estimation of mortality probability distribution for natural forests

研究代表者

廣嶋 卓也 (HIROSHIMA TAKUYA)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・講師

研究者番号：40302591

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、房総半島南東部にある東京大学千葉演習林における 110 年生二次林を対象に、488 本の立木の樹齢構成を明らかにするとともに、それら樹齢データを利用して寿命分布を推定し、伐採可能木を予測した。計測に使用した機械はリンテック社製レジストグラフである。解析の結果、進界後の樹齢分布は全立木で見ると若齢木の豊富な指数型であったが、樹種別にみると指数型と単峰型に分かれた。また全立木の樹齢の平均は 31 年、標準偏差は 26 年で、寿命の平均は 108 年、標準偏差は 180 年であった。平均樹齢が平均寿命より大幅に小さいことから、当該林分は遷移段階の途上で極相状態に達するには時間を要すると推察され、同時に、推定した寿命分布は安定したものでなく、樹齢構成の推移とともに変動すると推察された。また現状の寿命分布が今後 10 年間は変動しないと仮定した場合に予測された 71 本の枯死木のうち、たとえば樹齢が 50 年以上の 8 本の立木は伐採可能と判断された。なお現場で実際に伐採木を選木するには、樹齢の情報を胸高直径の情報に変換することが有効と考えられる。以上、本研究により樹齢情報を利用した新たな天然林管理の可能性が示された。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this study was to estimate a probability distribution of tree mortality and conduct yield prediction on a stand scale based on empirical data of tree age structure in a natural forest. Study area was the natural stand dominated by fir, hemlock and oak in size of 0.259 ha in the University of Tokyo Chiba Forest, Japan. First, tree age data were collected from trees with DBH \geq 5 cm using a RESISTOGRAPH. Tree ages were associated with the observation data as to number of dead trees and living trees by age class in the period from 1999 to 2008. Second, the probability density function was estimated by the maximum likelihood method for censored survival data. Finally, number of harvestable dead trees was predicted based on the estimated probability density function in the next 10 year period. The results showed that the mean age classes of dead trees and mortality probability distribution were 2.13 and 10.7 which implicated target stand was still young in succession midway. The results also showed that totally 71 trees were predicted to die and to be harvestable. In timber cruising, the information of age should be converted to that of diameter using the age-diameter regression functions for practical use. The suggested method showed a new approach to recognition of succession stage and prediction of yields in natural forests.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：森林管理・政策

1. 研究開始当初の背景

これまで天然林における樹齢構造を研究した事例はアルゼンチン、カメルーン、カナダ、フィンランド、日本、アメリカなどで複数あるものの、その件数は多くない。その理由は、チェーンソーを使った円板採取や成長錐を使った樹幹断片の採集に多くの時間と労力を要するためである。

一方、寿命解析、もしくは生存解析は、こうした樹齢データを応用した解析手法として重要である。そして林分レベルの寿命モデルの大半は人工林に適用されてきた。これまでの寿命確率、もしくは寿命関数は、ガンマ分布、ワイブル分布などの確率分布やロジスティック回帰モデルを想定したものや、直径成長と寿命の関係を定式化した微分方程式群から導出された理論式として表現したものであった。これら関数の説明変数は、一般に、胸高直径、成長率、競争指数などの林分因子で構成されており、これらモデルは寿命と林分因子との関係に焦点を置いていたことがわかる。さらに、人工林を対象とした従来モデルでは、樹齢を説明変数に取り入れることは困難であった。なぜなら樹齢はひとつの人工林林分内では通常、分散を持たないためである。

このように、とくに天然林を対象として、樹齢のみを説明変数とする寿命モデル、すなわち純粋な寿命分布の確率密度関数、を推定した事例はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、天然林において、現実に観測された樹齢データを利用して、林分レベルの寿命分布を推定し、さらに収穫予測（枯死予測）を行うことである。樹齢データの収集においては、レジストグラフを利用して、短時間かつ労力のかからない方法を実践する。

3. 研究の方法

(1) 対象地

対象地は、房総半島南部に位置する東京大学千葉演習林の固定試験地（北緯 35°11' 56"、東経 140°06' 18"）である。試験地の面積は 0.26ha で、モミ、ツガ、コナラが優占する二次林に設置された。対象林分は 1900 年に皆伐、天然更新され、1924 年にモミ、ツガ稚樹の更新を促進するために上層のコナラを中心に強度間伐された。試験地内の立木には番号が振られ、1999 年と 2009 年に調査した、

樹種、胸高直径、状態（生死）の情報があ

(2) 樹齢データの収集

上記試験地において 1999 年時に胸高直径が 5cm 以上あった立木 488 本を対象として、樹皮側より（胸高半径 - 2.5）cm の胸高年輪数を計測した。立木の進界境界を胸高直径 5cm とすれば、この年輪数は進界後の樹齢をあらわす。この樹齢を使えば、林分の樹齢解析の際に、胸高直径 5cm 未満の後継樹の影響を無視できる。

計測に使用した機械はリンテック社製レジストグラフで、直径 2mm、全長 45cm のニードルを樹木に陥入し、陥入抵抗値を 0.01mm の分解能で波形グラフ（図 1）として出力するものである（分解能を高めた特注品）。

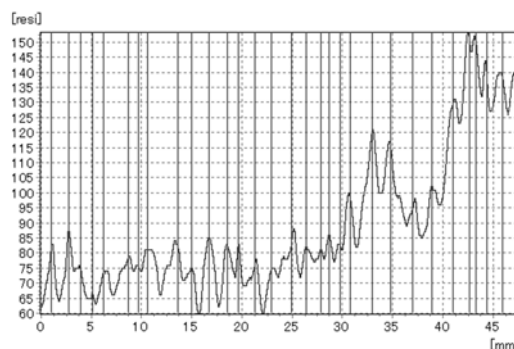


図 1. 年輪数を特定するためのドリル抵抗値を表す波形グラフ

波形グラフは、早材・晩材の密度変化を表し、変化のパターンは樹種ごとに異なるものの、国内では針葉樹・広葉樹（散孔材・環孔材・放射孔材）を問わず多くの樹種で年輪境界を検出できる。2009 年、この機械を使用して各立木の山側より、機械先端を幹表面の胸高部中央にあてがい、幹の中心を通るようにニードルを陥入し、上記樹齢を計測した。波形グラフは付属のデータロガーに記録され、コンピュータに転送後、付属ソフトウェア DECOM を利用して、（胸高半径 - 2.5）cm に該当する部分が抽出され、手動で年輪数が計測された。優占種であるモミ、ツガ、コナラの波形グラフは全般に、年輪が計測可能であった。枯死木の一部には腐朽により年輪の計測が困難なものがあり、これらの木では、他の木から求めた年輪数（ y ）- 胸高半径（ x ）の回帰式を樹種別に適用して年輪数を推定した。モミ： $y = 0.0019x^3 - 0.1325x^2 + 6.011x$ ($R^2 = 0.9769$)、ツガ： $y = -0.0006x^3 - 0.1663x^2 + 7.2717x$ ($R^2 = 0.9615$)、コナラ： $y = -$

$$0.0092x^3 + 0.2212x^2 + 4.3764x \quad (R^2 = 0.9147)$$

概して、レジストグラフの使用は、チェンソーや成長錐の使用に比べて、データ収集および年輪解析時の時間と労力を節約できた。

(3) 寿命データの観測

488本の立木は1999年時にはすべて生存しており、2009年時にそれらの生死と樹齢が上記の通り測定された。枯死木については1999年の観測直後に死亡したと仮定し（実際には1999-2009年の間のいつ枯死したかはわからない）、生存木については、2009年時の樹齢から10を差し引いて1999年時の樹齢に換算した。さらに樹齢の単位を年から齢級（1齢級10年）に換算した。こうして、1999-2008年の10年分期*i*なる期間において齢級*j*ごとに枯死木本数 $d_{j,i}$ と生存木本数 $a_{j,i}$ なる寿命データを観測した。

(4) 寿命分布の確率密度関数の推定

寿命分布の確率密度関数は、最尤法により推定した。対象木の寿命を確率変数*t*で表すとする。*t*はガンマ分布、負の二項分布ワイブル分布など一般的な寿命分布*f(t)*に従う。上記の観測では*t*は観測期間の前後で切断および打ち切りされている。対象木が観測期間中に*j*齢級で枯死したならば、観測された寿命事象は観測期間のはじめに切断され、枯死した時点で観測を終了したことになる。この事象は条件付き確率として

$\Pr(j-1 < t \leq j | t > j-1)$ ※と表される。一方、対象木が観測期間を通して*j*齢級で生存したならば、観測された寿命事象は観測期間のはじめとおわりにそれぞれ切断、打ち切りされたことになる。この場合、対象木が観測期間以降のいつ枯死するかは不明である。この事象は条件付き確率として $\Pr(t > j | t > j-1)$ と表される。こうして上記観測の尤度関数*L*は以下の同時確率として表される。

$$L = \prod_j \Pr(j-1 < t \leq j | t > j-1)^{d_j} \Pr(t > j | t > j-1)^{a_j}$$

$$= \prod_j \left(\frac{\int_{j-1}^j f(t) dt}{\int_{j-1}^{\infty} f(t) dt} \right)^{d_j} \left(\frac{\int_j^{\infty} f(t) dt}{\int_{j-1}^{\infty} f(t) dt} \right)^{a_j}$$

確率密度関数*f(t)*のパラメータは*L*による最尤法で推定した。ここではガンマ分布

$$f(t; m, k) = me^{-mt} \frac{(mt)^{k-1}}{\Gamma(k)}$$

のパラメータ*m*と*k*を推定した。

(5) 収穫予測

枯死木の予測は推定した確率密度関数を利用して行った。推定した確率分布は時間が経過しても一定（極相に達した天然林など）

であると仮定すると、次分期10年間の*j*齢級における枯死木本数 $d_{j,i+1}$ は

$$d_{j,i+1} = n_{j,i+1} p_j$$

と表される。ここで p_j は※で表される条件付き確率、 $n_{j,i+1}$ は次分期期首の*j*齢級における立木本数で、 $j \geq 2$ では

$$n_{j,i+1} = a_{j-1,i}$$

と表される。 $n_{1,i+1}$ の2009年時の観測値は111本であった。

4. 研究成果

(1) 寿命分布の確率密度関数

樹齢データの樹種別内訳は、ツガ197本、モミ170本、コナラ66本、その他55本の計488本であった。樹種別に寿命分布を推定するには枯死木の本数が不十分なため、以下の解析では全ての樹種を一緒くたに扱った。

表1は $a_{j,i}$ と $d_{j,i}$ の齢級分布である。 $a_{j,i}$ の平均、標準偏差は3.87と2.64で、 $d_{j,i}$ のそれらは2.13と1.58であった。これら観測値を利用してガンマ分布のパラメータ*m*と*k*を推定したところ、それぞれ0.030と0.353となり、分布の平均と標準偏差は10.7と18.0であった。寿命分布を図2に示す。図によると、寿命確率は1齢級で最も高く齢級の増加とともに単調に減少した。これは枯死木の割合が弱齢級で高く高齢級で低いことを反映したものである。

表1. 1999-2008年における齢級配置

齢級 <i>j</i> (10年 / 齢級)	$a_{j,i}$ (本)	$d_{j,i}$ (本)	計 (本)
1	78	37	115
2	93	19	112
3	57	8	65
4	43	4	47
5	39	3	42
6	30	4	34
7	16	0	16
8	25	1	26
9	16	0	16
10	8	0	8
11	7	0	7
計	412	76	488



図 2. 1999–2008 年の寿命分布

もし林分が極相状態で寿命分布が時間によらず定常であれば、 $d_{j,i}$ と寿命分布の平均と標準偏差は一致することが知られている。 $d_{j,i}$ の平均と標準偏差は寿命分布のそれらよりずっと小さいことから、当該林分はまだ若く遷移の途中であることがわかる。このことは高齢級で枯死木がほとんど観測されなかったことからわかる。

(2) 収穫予測

表 2 に 2009–2018 年の次分期における枯死木 $d_{j,i+1}$ の年齢分布を示す。

表 2. 2009–2018 年の枯死木予測

年齢級 j (10 年 / 年齢級) (本)	$d_{j,i+1}$
1	37
2	10
3	9
4	5
5	3
6	2
7	2
8	1
9	1
10	1
11	0
計	71

ここでは上記で推定した寿命分布が 2009–2018 年の短期間、不変であると仮定している。対象林分が極相状態でないのに寿命分布を不変と見なす理由は以下の通りである。先の観測では、表 1 の通り枯死木は弱年齢級に集中し、被圧に由来するそのような若年齢での枯死は時間を経てもほぼ一定の割合で発生すると考えられる。ゆえに生物学的な本来の寿命を全うした枯死が高年齢級で頻発するよう

になるまでは推定した寿命分布はほぼ不変であり続けると考えられる。

表 2 によれば、71 本の枯死木が発生し、たとえば高齢木は建築用に、若年齢木は薪炭用に提供できよう。2009 年当初の立木数は計 523 本なので、伐採率は 14% に相当し、東京大学千葉演習林の経営指針に適合する。

もし現地における伐採木選定の際、樹齢情報から対象木を選定することが困難であれば、3 (2) 節の回帰式を利用して樹齢を胸高直径に変換すればよい。たとえば 6 年齢級の枯死木は約 30cm の胸高直径にあたることわかり、輪尺を用いて対象木を容易に選定できよう。

以上、本研究では、房総半島南東部にある東京大学千葉演習林における 110 年生二次林を対象に、488 本の立木の樹齢構成を明らかにするとともに、それら樹齢データを利用して寿命分布を推定し、伐採可能木を予測した。このように、とくに天然林を対象として、樹齢のみを説明変数とする寿命モデル、すなわち純粋な寿命分布の確率密度関数を推定した事例は国内では初で世界的に見てもおそらく例がない。さらに本研究により樹齢情報を利用した新たな天然林管理の可能性が示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

① 廣嶋卓也, 85 年生二次林における樹木の胸高年輪数の解析, 関東森林研究, 査読有, 62 巻, 2011, 印刷中

② Hiroshima T, Estimation of tree mortality probability and prediction of yields on a stand scale in a natural forest, Journal of Forest Research, 査読有, in press

〔学会発表〕 (計 1 件)

① 廣嶋卓也, 85 年生二次林における樹木の胸高年輪数の解析, 日本森林学会関東支部大会, 2010 年 10 月 22 日, 宇都宮

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣嶋 卓也 (HIROSHIMA TAKUYA)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・講師
研究者番号：40302591