

回帰分析法による樹令推定について

I. 直線回帰モデルのあてはめ

岩神 正朗・坂本 格・坂本 直紀

(農学部森林計測学研究室)

Estimation of the Tree Ages by Regression Analysis

I. Fitness of the Linear Regression Model

Seiro IWAGAMI, Tadashi SAKAMOTO and Naoki SAKAMOTO

Laboratory of Bio- and Econo-metrics, Faculty of Agriculture

Abstract: A new method for being able to estimate tree ages without the record of the plantation and without the allowance of the felling is examined by the regression analysis.

For estimating the tree ages, we select the four factors that we seem effective: (1) Number of the annual ring of the sampled branch (X_1) (2) Height to the sampled branch (X_2) (3) Site index (X_3) (4) Product the number of the annual ring of the sampled branch and height to the sampled branch (X_4). And we establish four linear regression models by the combination of the four factors.

The data for the test are 65 samples from 35 to 67 years of age, collected at the Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc.) planted forests of the Kochi University Forest and its around.

The results are as follows: (1) Equation (2) is one of the best fitness in the four equations, but the multiple correlation coefficient is 0.890. (2) X_2 is one of the most effective factor.

After this, we need to study on the relationship between the tree age and many factors relating to it.

ま え が き

樹木の年令は、林木材積測定学において生長量の時間の尺度として重要であるばかりでなく、経営上あるいは学術上、天然林(または異令林)における年令分布を知るうえで必要な場合もある。

現在、樹木ないし林木の年令を推定する際に、植栽記録がある場合とか、あるいは伐倒が許可される場合については、容易にしかも高精度に推定しうる。しかし、この条件が満されない場合、すなわち、記録もなく、伐倒も許されない場合は、① 伐根を利用する方法、② 生長錐による方法、③ 枝節の段数を利用する方法、のいずれかの方法によって推定しなければならない。しかし後者の場合、①の方法は、その林内に伐根のない場合とか、たとえ伐根があったとしても異令林では使えず、②の方法は、技術的に難かしく、③の方法は、樹種が限定されしかも老令木は枝節のこみ跡が不明確になるので適用できなくなる。などいずれの方法も年令推定法として充分なものがないのが現状である。

そこで、われわれは、記録もなく、伐倒も許されない場合、しかも伐根も利用できない場合の年令推定に——従来であれば、経験にたよるしかない——もっとも有効な推定要因として、任意の高さの生枝の着生部の年輪数をとり上げた。すなわち、“樹令は、任意の生枝の着生部の年輪数プラスその任意の生枝の着生するに要した年数である。”ことから、生枝の年輪数を第1の説明変数とし、また、その生枝の着生に要する年数に関与すると思われる諸因子をその他の説明変数とする線型重回帰分析による年令推定法の応用を試みた。

適合性検定のための資料は、本学農学部附属演習林およびその周辺地域のヒノキ人工林（35～67年生）から採取した65本を用いた。

なお、枝の年輪測定に関し有益な御助言をして下さった本学林産学教室中山義雄助教授に謝意を表します。

調査および測定方法

調査木の選定 樹令推定の回帰分析を行なうための生枝採取木の選定に当って次の諸点を留意して試料の採取を行なった。

- 1) 調査対象木は、今回はヒノキ人工林分に限定し、樹令が確認できること。
- 2) 調査木の樹令はできるだけ広範囲にまたがるように採取すること。
- 3) 1調査林分において、立木密度の異なる地点を数箇所（原則として、密・中・疎の3箇所）求め、任意に調査木の選定する。

その結果、時間的な制約と上記3つの制約、特に樹令確認林分の不足などにより、15林分の65本を採取したにとどまった。

現地調査 上述したような考慮のもとに調査木を選定し、樹令を確認^{註)}するとともに、調査木の胸高直径、樹高、採取枝下高の測定および、隣接木も含めた樹冠投影図と樹冠縦断面図の作成、さらに調査地点附近の傾斜角、方位、平均林分高の測定を行なった。そして、研究の最重要因子である生枝の年輪数は、調査木ごとに力枝附近の枝を選び、梯子と枝打鋸で枝おろしを行ない、年輪測定可能な長さに切断し、研究室に持ち帰り測定に供した。

枝年輪の測定 枝の年輪数は、ヒノキの場合、心材部は肉眼でも識別できるが、ことに辺材部は年輪が不明瞭である。そこで枝試料を髓を中心に厚さ3cm位に縦に載断し、5～6日間煮沸し、繊維が柔らかくなったところで試料を取り出し、ミクロトームで年輪が欠けない程度の厚さに切片を取り、光線に透してルーペで測定した。判断しにくい材料については、フクシンを溶かした液に浸し、染色させて測定した。枝の年輪測定において特に注意を要する点は、枝の下部にできるアテ（偽年輪の様相を呈する）である。従って、枝の年輪は枝の着生状態で髓中心より上部側を測定しなければならない。

測定結果

上述した測定項目の中で、樹令の回帰分析の要因として取り扱おうと思われる測定項目は、「枝年輪数」、「採取枝下高」および「地位指数」であり、それぞれの計測値は、表-1に示すような結果である。ただし、地位指数の値は、林分平均樹高を「土佐地方ヒノキ林分収穫表」の40年生に対応する樹高に変換した値を用いている。

また、樹令およびこれらの測定項目との相互の関係を相関係数でみた結果、表-2のとおりである。この表で見限る限り、当然のことながら樹令と枝年輪数との間に高い相関があり、他の因子間には、ほとんど相関がみられなかった。

註) 樹令の確認は、ほとんどの調査木は森林調査簿によった。一部伐根による年令推定が含まれる。

表-1. 各因子の測定結果.
Table 1. Results of measured factors

No.	樹令 (Y)	枝年輪数 X ₁	採取枝下高 X ₂	地位指数 X ₃	No.	樹令 (Y)	枝年輪数 X ₁	採取枝下高 X ₂	地位指数 X ₃
1	37	20	6.2	13.5	34	42	22	6.8	14.8
2	"	14	6.8	12.1	35	"	20	4.1	9.0
3	"	19	7.0	12.8	36	"	18	6.2	9.7
4	"	18	7.7	13.7	37	"	21	3.6	10.5
5	"	19	5.9	15.1	38	"	23	6.8	14.2
6	"	18	4.8	9.0	39	"	19	5.9	9.5
7	"	24	4.4	11.2	40	"	22	5.8	11.4
8	"	16	3.6	10.1	41	"	17	5.8	11.3
9	"	15	5.0	14.9	42	"	19	7.9	14.7
10	38	18	3.9	10.4	43	46	25	6.0	14.2
11	"	20	4.6	11.3	44	47	16	7.8	12.8
12	"	26	3.6	10.7	45	48	26	5.2	11.5
13	"	20	5.3	12.4	46	49	24	6.5	13.5
14	"	28	8.3	16.4	47	52	26	5.5	10.6
15	39	21	6.1	17.4	48	53	31	4.6	10.1
16	"	18	5.9	11.5	49	54	24	6.0	10.1
17	"	16	6.1	13.8	50	55	27	7.3	11.1
18	"	22	4.7	14.0	51	56	26	5.3	10.1
19	"	21	4.3	10.8	52	"	21	6.7	10.4
20	"	19	4.9	11.2	53	"	31	5.9	9.6
21	40	18	4.0	10.8	54	"	20	7.7	10.3
22	"	27	5.8	16.5	55	"	22	7.7	10.9
23	"	26	4.0	12.0	56	57	33	5.1	10.7
24	"	16	5.9	12.6	57	"	35	4.6	11.0
25	"	20	7.0	14.3	58	"	25	6.3	10.4
26	"	17	7.7	15.7	59	58	22	8.6	10.1
27	"	23	6.0	15.1	60	"	29	6.4	10.4
28	41	23	6.4	14.2	61	59	24	6.2	12.4
29	"	18	6.7	11.8	62	60	40	3.6	9.6
30	"	23	6.0	12.0	63	67	56	5.9	12.3
31	"	19	8.3	15.4	64	"	50	7.6	15.3
32	"	21	5.1	11.7	65	"	46	6.8	11.4
33	"	18	9.8	15.5					

表-2. 因子間の相関係数
Table 2. Correlation coefficient between the measured factors

	枝年輪数 Number of the annual ring of the sampled branch	採取枝下高 Height to the sampled branch	地位指数 Site index
樹令 Tree age	0.756	0.171	0.317
枝年輪数 Number of the annual ring of the sampled branch	1.000	-0.054	-0.064
採取枝下高 Height to the sampled branch		1.000	0.474
地位指数 Site index			1.000

回 帰 モ デ ル の 設 定

前項でも少しふれたように回帰分析では、測定因子が数値化されたものでないといけないし、場合によっては、生の測定値そのものを統計処理することが不都合なこともある。しかし今回は、「採取枝下高」および「地位指数」が、ことに樹令との相関において低いので独立変数として問題があるが、説明変数としてどの程度寄与しているか検討すけのため取り上げる必要がある。また、各変数の交互作用については、変数間の理論的関係が解明されていないし、表-2の単相関でみるかぎり変数間に確たる関係がみられないが、「採取枝下高」と「枝年輪数」との関係は、樹令を一定にすれば、マイナスの高い相関が期待される。従って、上記3つの説明変数に、新たに第四の変数として、「採取枝下高」と「枝年輪数」との積を加えることにする。

結局、樹令推定 (\hat{Y}) の回帰モデルの説明変数は、① 枝年輪数 (X_1) ② 採取枝下高 (X_2) ③ 地位指数 (X_3) ④ (枝年輪数) × (採取枝下高) (X_4) の4変数として、次に掲げるような変数の組み合わせによるモデルを構成し、重回帰分析を行なった。

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 \quad (1)$$

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 \quad (2)$$

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_4 X_4 \quad (3)$$

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 \quad (4)$$

ただし、 $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$, $\hat{\beta}_3$, $\hat{\beta}_4$ は標本回帰係数である。

重 回 帰 分 析 結 果

上記4個の式について、逆行列法を用いてそれぞれ重回帰分析を行なった結果、表-3のようにまとめられた。この表によると、 X_4 (枝年輪数×採取枝下高) の回帰係数は、(3)および(4)の両式と

表-3. 回 帰 係 数 の 検 定 結 果

Table 3. Results of testing the significance of the regression coefficients

回 帰 モ デ ル Linear regression models	回 帰 係 数 Regression coefficients					重 相 関 係 数 Multiple correlation coefficients
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	
1) $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2$	17.112	*** 0.861	*** 1.366	—	—	0.786
2) $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3$	33.355	*** 0.840	*** 2.810	*** -1.995	—	0.890
3) $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_4 X_4$	9.450	*** 1.197	2.610	—	-0.055	0.788
4) $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4$	29.233	*** 0.962	*** 3.205	*** -1.993	*** -0.008	0.921

*** :Significance level at 99%

もに、ゼロと有意差なく除かれるべき変数となった。それに、(3)式の変数組合せのモデルでは、 X_2 (採取枝下高) の回帰係数が有意水準に達しなかった。その結果、4変数を取り扱った今回の分析結果から、 X_4 の変数を除いた(2)式、 $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3$ が最優良回帰モデルとなった。

また、表-3の重相関係数は、(1)式の値が0.786に対して、 X_3 の変数を1個加えた(2)式では、0.890となり、係数値が0.104もの増加になったのに対し、(2)式に更に1変数加えた(4)式では、その値は0.921と増大したが、その増加量は、僅か0.031であった。

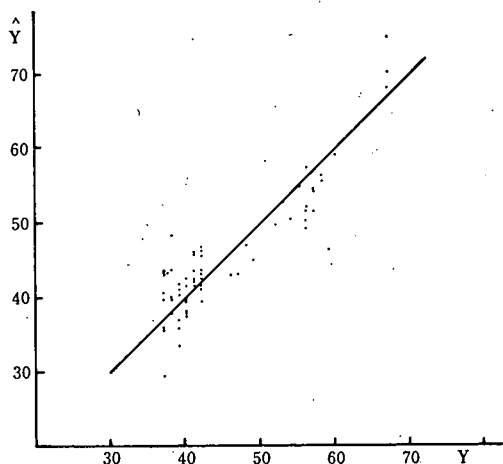


図-1 樹令(Y)と推定樹令(\hat{Y})との関係

Fig. 1. The relationship between the actual tree age (Y) and the estimated tree age (\hat{Y}).

測定樹令(Y)と(2)式による推定樹令(\hat{Y})の関係を示したのが、図-1である。この図から50~60年生では過少推定、70年生近くでは、データが少ないが過大推定となっている。このことは、回帰式そのものの組み立てにも問題がありそうである。

考 察

今回は、樹令推定に有効な要因と思われる枝の年輪測定値を使って線型回帰モデルによる推定を行なったのであるが、推定精度も0.9程度で、樹令の推定式としては充分とはいえなかった。勿論、当初より線型回帰モデルの単純な型で樹令を高い精度で推定しようとは考えていなかった。ただ、次の段階に進む礎石としてそれぞれの変数の影響度を知っておく必要があったからである。取りあげた4つの推定式においても明らかなように、枝の年輪数がいずれも高い有意性を示し、樹令推定の手がかりになっていることは事実である。この手がかりの解明は、実は測定枝が着生するに至る年数である。それを規制している要因がその木の周辺の立木密度、地位などであり、これらの要因の上長成長への影響を理論的に解明することが必要となる。

われわれがここに新しく樹令推定の問題を取り上げたのは、人工林でしかも同令林における樹令は何らかの方法で推定可能であるが、天然林ないしは異令林では今までの方法では推定不可能である。そこで、天然林においても樹令の推定ができる方法を考えたのであるが、一つの問題は、天然林の場合、過去の樹木の被圧がどんな状態であったかほとんど不明であることである。その点、採取枝に達するまでの年数を知ることは、被圧時代がどれ程かかったかを知ることであり難かしい問題が残る。

基本的な問題は今後にゆずるとして、われわれは、樹令推定式をヒノキ人工林に適用したのであるが、図-1でわかるように樹令50年前ごろから60年頃までは推定樹令が小さく、逆に70年頃にな

ると大きくなっている。このような歪みは、推定式の不備からきたものと思われる。これには推定式において、40~50年生頃は \hat{Y} をアップさせ、70年生頃をダウンさせる要因の操作を考えればよいと考える。

枝の年輪測定は、樹令測定のために行なったのであるが、これはまた別に上長成長量の推定に興味深い。すなわち、一本の木から垂直的に何本かの生枝を取り、年輪を測定することによってそれが可能であるからである。

摘 要

われわれは、植栽に関する記録もなく、木を伐倒することもできない場合にでも、樹令を推定できる式を、樹令に関連すると思われる3個の因子を用いて、回帰分析法によって検討した。

樹令推定の説明変数を、枝年輪数 (X_1)、採取枝下高 (X_2)、地位指数 (X_3) および枝年輪数×採取枝下高 (X_4) とし、変数の組合せを変えた4個の式を作り本学農学部附属演習林およびその周辺のヒノキ人工林 (35~67年生) の資料を用い回帰分析を行なった。その結果(2)式が最もよい結果となった。しかし、推定式としては、重相関係数が0.9 でまだ充分とはいえない。今後は樹令と他の要因との関係を理論的に究明して行かなければならない。

文 献

- 1) 大隅真一・北村昌美・菅原聡・大内幸雄・梶原幹弘・今永正明, 森林計測学, p. 121-125, 養賢堂, 東京 (1972)

(昭和48年9月29日受理)