

置戸照査法試験林の動態解析*1

—遷移行列の固有値による施業評価—

舩木 順二*2 · 吉田茂二郎*2 · 今田 盛生*2

照査法による択伐林施業が北海道置戸照査法試験林において行われている。筆者らは本試験林の施業支援システムの構築を目標に研究を進めている。その一環として、本報告では林分の遷移傾向を把握する指標として遷移行列の固有値を用いた解析および固有値の弾力性分析を行った。その結果、施業を行う上での指針を得ることができシステム構築にとって有用な情報であることが示唆された。

Selective cutting system by the check method has implemented in the Oketo Experimental Forest in eastern Hokkaido, Japan. We have studied to construct the decision support system of this forest. In this paper, we analysed the transition tendency of compartments by eigenvalues of transition matrixes and did the elasticity analysis of eigenvalues with respect to the elements of transition matrixes. As a result, we got a appropriate management guideline and this information was useful to construct the decision support system.

I. はじめに

北海道置戸においては照査法による大面積（施業面積77ha）の針広混交林を対象にした択伐林施業が昭和30年以來行われている。照査法の試験・研究は諸外国に於いて意欲的に行われており今後期待すべき施業と思われる。本研究では、今後施業を行う上での一指針を得る目的で、照査区毎の遷移行列を作成し、その固有値を利用することにより林分成長量の予測が可能か否かの検討を行った。また、弾力性分析により各直径階の林木個体および進界量の林分動態への影響を評価した。

II. 解析資料

北海道北見経営区22林班41小班の3個の照査区（第

5・7・11照査区）の第1経理期～第5経理期のデータを用いた。照査区毎針葉樹・広葉樹それぞれ直径階別（最小直径階15cmとする5cm 拮約）の期首本数・伐採本数・枯死本数・期末本数および進界本数が記録されている。経理期間は8年である。なお、第5・11照査区は施業区で第7照査区は対照区であり5経理期間の伐採後の針葉樹比率（本数）はそれぞれ72%～80%・42%～56%・49%～51%である。また、各照査区の面積はそれぞれ2.25・3.78・3.77haである。

III. 解析方法

本報は、Osho(3)および佐野ら(4)の用いた手法をもとに針広混交択伐施業林に適用したものである。

(1) 遷移行列の作成

林分の伐採後と期末の胸高直径の分布を N_0 , N_1 , 遷移行列を T , 直径階数を9（直径階15～30cmを小径木, 直径階35～50cmを中径木, 直径階55cm以上を大径木とする）として、モデルを示すと次式のようにになる。

$$N_1 = T \times N_0$$

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} + c_1 & c_2 & \cdot & \cdot & \cdot & c_8 & c_9 \\ b_{21} & a_{22} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & b_{32} & a_{33} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & b_{87} & a_{88} & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & b_{98} & a_{99} \end{bmatrix}$$

ここで、遷移行列 T の要素 a_{ii} ($i=1, \dots, 9$) は原級に留まる比率, b_{ij} ($i=2, \dots, 9; j=1, \dots, 8$) は1階級進級する比率 c_k ($k=1, \dots, 9$) は各直径階の個体当たりの進界率を表す。原級に留まる比率 (a_{ii}), 1階級進級する比率 (b_{ij}) は直径階別の期首本数・期末本数と枯死本数より算出した。各直径階の個体当たりの進界率 (c_k) は、定量的資料が十分ないため各直径階の個体が

*1 Masuki, J., Yoshida, S. and Imada, M.: An analysis of population dynamics at the Oketo Experimental Forest by the check method-the assessment of past management by eigenvalue of transition matrixes

*2 九州大学農学部 Fac. of Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

同程度に進界に寄与するとして重み付けをしない場合(4)と各直径階の結実能力の差異を反映させた直径階ごとに重み付けをした場合(3)について算出した。それぞれの進界率(c_k)は次式ようになる。

$$\text{重み付け無しの場合 } C_k = \text{Ing} / (n_1 + n_2 + \dots + n_9)$$

$$\text{重み付け有りの場合 } C_k = \text{Ing} / 9 n_k$$

$$(k=1, 2, \dots, 9)$$

ここで、Ingは進界本数、 n_k は各直径階の伐採後の本数を表わす。

(2) モデルによる遷移の把握

遷移を把握するための値として、ここでは遷移行列の最大固有値(λ)を考える。照査法における成長量の計算は次式によりなされている(2)。

$$A = M - (m - E)$$

ここで、Aは照査区の成長量、Mは期末蓄積、mは期首蓄積、Eは収穫量を表わす。したがって、 $\lambda = 1$ のとき林分の成長量は0、 $\lambda > 1$ のときは増加、 $\lambda < 1$ のときは減少を意味し、これを計算することにより林分がどのような方向で遷移するかが把握できることになる。

(3) 弾力性分析

遷移行列の最大固有値(λ)は林分の成長率を表わす指標である。各直径階の林木個体が林分の成長率に及ぼす寄与は異なる。そこで、弾力性分析(1)により各直径階の林木個体の最大固有値(λ)に与える効果の検討を行った。一般に、遷移行列の要素 a_{ij} の最大固有値(λ)に対する弾力性 e_{ij} は次式で与えられる。

$$e_{ij} = \frac{a_{ij}}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} = \frac{\partial \ln \lambda}{\partial \ln a_{ij}}$$

また、弾力性 e_{ij} の特徴は次式で与えられ、各弾力性 e_{ij} が弾力性の総和の割合になることを示しており、弾力性の値が大きいほど林分の成長率に及ぼす影響が大きいことが分かる。

$$\sum_i \sum_j e_{ij} = 1$$

IV. 結果および考察

資料より作成した遷移行列の固有値 λ と経理期との推移を図-1に示す。

各照査区とも各経理期において樹種に関係なく固有値 λ は1より大きく、林分成長量は正であることを示している。実際、各照査区とも各経理期において両樹種の林

分成長量は正であり、固有値 λ は林分の遷移傾向を把握する上での指針になることを示している。なお、固有値の算出には数式処理汎用ソフトウェアである Mathematica version 3.0を用いた。固有値 λ の変動は主に伐採量(針葉樹と広葉樹の伐採量を合わせた総伐採材積)の違いに起因すると考えられる。また、伐採量により固有値 λ の変動を捉えることができれば、伐採量により林分成長量の変動を捉えることが可能になり、伐採量と林分成長量が等しくなる施業等の保続経営を行う上での指針を得ることが可能になる。そこで、伐採量と固有値 λ の関係を検討した(図-2)。

図-2から分かるように両者の関係は、伐採量の増加に伴い固有値 λ の値が増加する場合、伐採量の増加に対して固有値 λ の値が横ばいの場合等、種々のパターンが認められる。総伐採量のみを説明変数として固有値 λ の変動を捉えることは困難である。固有値 λ は遷移行列の各要素の関数であり、その変動を捉えるには各直径階の伐採量を説明変数に加えた重回帰モデル等の検討が必要である。

次に、固有値 λ により林分成長量を正確に捉えることが可能か否かを確認するために、林分成長量と固有値 λ の関係を検討した(図-3)。固有値 λ は成長率を示す指標であり、林分の成長量を正確に反映するならば成長量の増加に伴い固有値 λ も増加する傾向を示すと考えられる。しかし、図-3から分かるように例えば第5照査区の広葉樹の場合は成長量の増加に伴い固有値 λ は減少している。また、第7照査区の針葉樹の場合は成長量の増加に伴い固有値 λ は減少から増加に転じる変動を示している。これらは、前述の総伐採量と固有値 λ の関係を反映するものであることを示唆している。すなわち、林分成長量は各直径階の林木の成長量を加えたものであり、各直径階の林木の成長量は各直径階の伐採量に依存すると考えれば、固有値 λ の変動を捉えるには各直径階の成長量を説明変数として加えたモデルの検討が必要である。

さらに、予測の適合度を確認するために個々の照査区における固有値 λ を用いて算出した林分成長量と実測値との比較を行った(図-4)。

林分成長量の算出は2種の遷移行列(進界率に重み付けをしない場合(予測値1)と重み付けをした場合(予測値2)から算出した固有値 λ を用いて行った。各照査

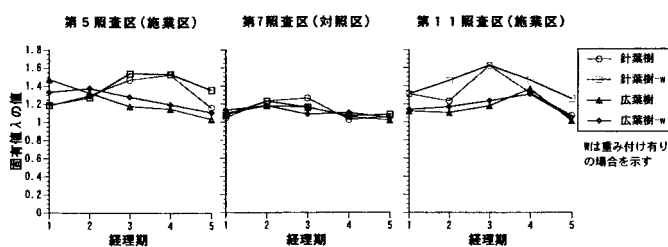


図-1 固有値 λ の推移

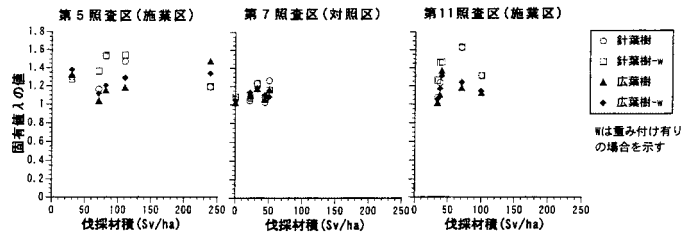


図-2 伐採量と固有値λの関係

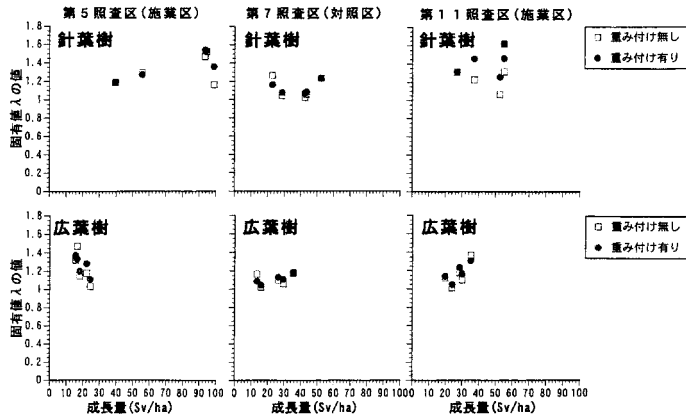


図-3 成長量と固有値λの関係

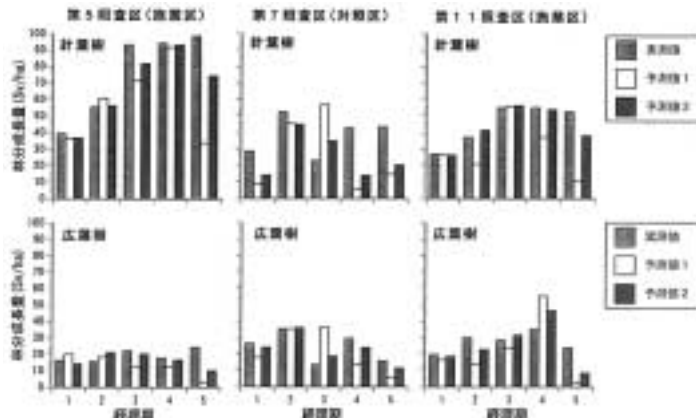


図-4 成長量の実測値と予測値の比較

区とも進界率に重み付けをした遷移行列から算出した固有値λを用いて林分成長量を算出する場合のほうが実測値に対して適合度が良好である。予測値2と実測値を比較した場合に、針葉樹では第5調査区の第5経理期・第7調査区の第4経理期および第5経理期・第11調査区の第5経理期、広葉樹では第5調査区の第5経理期・第11調査区の第5経理期において、予測値の適合度が低く実測値は予測値の±20%の範囲内を超えている。これは、遷移行列Tと固有値λの関係は、伐採後の林分の胸高直径の分布を N_0 としたとき、 $T \cdot N_0 = \lambda N_0$ により表わされると仮定することによると考えられる。すなわち、この関係式において左辺は林分の各直径階の期末本数を計算して期末蓄積を算出することを示し、また実際の林分の期末の状況を正確に記述している。

一方、右辺は林分の伐採後の蓄積に成長率（固有値λ）を乗じて期末蓄積を算出することを示しており実際の林分の期末の状況を正確に記述できないためである。これを改善するには、択伐林は同齢一斉林と異なりサイズ分布の対称性が無く林分の成長には林分構造が大きく寄与していることを考慮して、進級確率に林分構造を反映するような重み付けをした遷移行列を作成し、その固有値を用いて林分成長量の予測をすることが必要であると考えられる。

弾力性分析の結果の一例として第4経理期に於ける第5調査区の場合を表-1に示す。

小径木（直径階15cm～30cm）および進界量の弾力性の総和は、針葉樹の場合が73%、広葉樹の場合が63%である。これから、両樹種とも小径木および進界量が林分

の成長に大きく寄与することが分かる。これより、当林分の施業としては小径木の成長促進と境界量の増加を念頭に置いた伐採を実行することであると考えられる。

V. おわりに

遷移行列の固有値を利用した林分の遷移傾向の把握手法を紹介した。また、弾力性分析により一つの施業指針を得ることができた。しかし、固有値を用いた林分成長量の予測の適合度は不十分であり、遷移行列（進級確率）の改善が今後の第一の検討課題である。本報告では遷移行列の作成を樹種毎に行い枯死率はその要素に陽に含まれていない。今後は樹種の区別をしない遷移行列および枯死率を陽に含んだ遷移行列を用いた解析を行い、実際の林分の動態を記述する行列として最適な遷移行列が在るのか否か検討を加える予定である。また、前述のように照査法による蓄積経理方式では成長量と伐採量が

等しくなる場合は期首蓄積と期末蓄積が等しくなり保続経営が行われていることを示す。しかし、図-5に示すように現在までの施業では両者が等しい経理期は存在しない。そこで、成長量と伐採量が等しくなるような施業の評価をする上での指針として固有値λの適用が可能か否かの検討を加える予定である。

引用文献

- (1) Caswell, H. : Matrix population models. pp.328, Sinauer, USA. 1989
- (2) 北海道林務部, 置戸照査法試験林の成果報告第IV報, pp.13, 1996
- (3) Osho, J. S. A. Ecological Modelling, 59, 247~255, 1991
- (4) 佐野 真ほか, 日林論, 104, 243~244, 1993

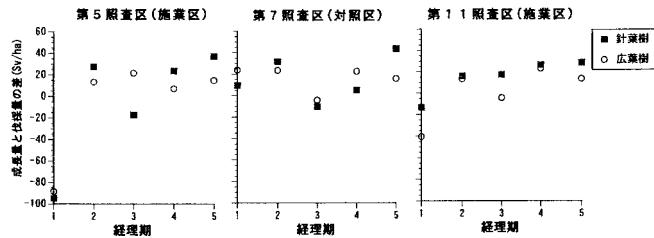


図-5 成長量と伐採量の差の推移

表-1 弾力性分析の結果

樹種	針葉樹				樹					広葉樹				樹				
遷移行列	0.494	0.274	0.458	0.667	1.8	1.688	2.455	6	5.4	0.643	0.071	0.1	0.173	0.249	0.691	1.037	6.22	0.622
	0.625	0.152	0	0	0	0	0	0	0	0.385	0.511	0	0	0	0	0	0	0
	0	0.848	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.489	0.581	0	0	0	0	0	0
	0	0	0.831	0.161	0	0	0	0	0	0	0	0.419	0.639	0	0	0	0	0
	0	0	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.361	0.6	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0.344	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.889	0	0	0
弾力性行列	0	0	0	0	0	0.656	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.111	0.667	0
	0	0	0	0	0	0	0.5	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.667	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	0.0683	0.0171	0.0177	0.0156	0.023	0.0181	0.0167	0.0169	0.019	0.0883	0.0054	0.0061	0.0078	0.0068	0.0241	0.0075	0.01256	0.0063
	0.1441	0.0159	0	0	0	0	0	0	0	0.0766	0.0568	0	0	0	0	0	0	0
	0	0.127	0.0158	0	0	0	0	0	0	0	0.0711	0.0666	0	0	0	0	0	0

注1) 第4経理期第5照査区の場合

注2) 遷移行列は進界率に重み付けが有る場合