

ライクス システム収穫表LYCSを活用した樹冠動態モデルに関する研究 —多様な林分密度に対応した森林資源予測システムの開発に向けて—

中島徹・白石則彦（東大農）・松本光朗（森林総研）

要旨：本研究は東京大学千葉演習林固定試験地を対象に、枯死木の発生や、直径成長と樹冠との関係を検討した上で、システム収穫表LYCS（ライクス）を用いて林分密度に応じた樹冠の変動を表現することを試みた。そのうえで、推定された樹高、枝下高を実測値と比較することによって、現実林分との適合性を検証した。その結果、既存のシステム収穫表によって推定困難とされる高密度林分の自然枯死や、極端な低密度林分の肥大成長は、いずれも樹冠の動態を考慮することで表現し得ることが示唆された。また、推定された樹高成長、枝下高はいずれも固定試験地の実測値とよく適合した。このように、林分密度の変化に対する樹冠の応答をモデル化することで、間伐の集約度に応じた樹高、枝下高、ひいては樹冠長の変動を推定することが可能となった。

キーワード：高密度林分、樹冠長、システム収穫表、低密度林分、LYCS

Abstract : This study aims to clarify the relationships of tree mortality and canopy or DBH growth and canopy in the experimental forest of the University of Tokyo. We estimated the fluctuation of canopy caused by stand density control with Local Yield Table Construction System (LYCS). The predicted tree height and height of base of crown are checked using observed value. The results of our study showed the goodness of fit between the predicted values and observed values. This model enabled us to calculate the canopy length in various stand density control.

Key words : canopy length, high density stand, low density stand, LYCS, program to construct local yield tables

I はじめに

近年、わが国の民有林において、間伐頻度の違い(7)に伴う林分密度の多様化が指摘されている(9)。このような人工林の実態を考慮した資源管理を行うためには、高密度林分から低密度林分にかけての多様な林分密度に対応可能な次世代型森林資源予測システムが必要となる(13)。他方、既存の成長予測ツールとしてシステム収穫表が数多く開発されているが(5)，全国のスギ、ヒノキ(8, 14)や長伐期施業に拡張(10)されるなど高い汎用性を有するLocal Yield Table Construction System（以下、LYCS（ライクス）と記す）であっても、平均管理曲線から大きく逸脱する低密度林分や高密度林分に適用するには限界がある(13)。実際、両極端な低密度林分、高密度林分において成長量を推定するためには、従来のシステム収穫表が扱ってこなかった樹冠の情報を考慮する必要性を示唆する報告もあり(11)，今後、多様化した林分密度に対応できる森林資源予測システムを開発するうえでは、非同化器官たる樹幹の情報に加え、同化器官である樹冠の情報もモデル化することが求められる。

樹冠と樹幹の成長に関する先行研究には、単木レベル

で陽樹冠の光合成能力を解明したものや(3)，陽樹冠と材積の成長量を分析したもの(4)，さらには樹冠の情報をもとに樹幹形の定量化を可能にしたものなどがある(1, 2)。一方で、このような樹冠が樹幹におよぼす影響を林分密度に応じて考慮するためには、間伐の実施に伴う樹冠の変動を解明することが重要となる。しかし、間伐後の林冠表面の動態や、着葉構造を報告した例はあるものの(6)，間伐の履歴に応じた樹冠長の推移を林分単位でモデル化した研究は少ない。

そこで、本研究は固定試験地における枯死木の発生や直径成長と、樹冠との関係を検討したうえで、LYCSを用いて林分密度に応じた樹冠の変動を表現できるモデルを構築することを試みた。そのうえで、構築したモデルによる樹冠の推定値と実測値を比較し、現地林分に対する推定値の適合性を検証した。

II 資料と方法

対象地 対象地は東京大学千葉演習林のスギ間伐試験地および無間伐試験地である。各試験地には約0.01haの調査プロットが設けられており、林齢15年以降、約5年

Tohru NAKAJIMA, Norihiko SHIRAISHI (Fac. of Agric, the Univ. of Tokyo, Tokyo 113-8657) and Mitsuo MATSUMOTO (For. And Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687) Development of canopy model with LYCS focusing on projecting forest resources in various stand density control.

おきに毎木調査が実施されている。間伐試験地、無間伐試験地のhaあたり植栽本数は約4,400本であり、現在、林齡38年に達している。なお、間伐試験地では林齡15年と林齡31年の時点で計2回の間伐が実施されている。

資料 使用した資料は上記の試験地で得られた樹高、枝下高、胸高直径の毎木調査データである。各測定項目のうち、樹高、枝下高はブルーメライスによって、胸高直径は輪尺によってそれぞれ小数点一桁まで測定されている。なお、ここでいう枝下高は着葉の認められる生枝下高であり、枯れ枝を無視して計測されたものである。

方法 本研究は上記の資料を用い、枯死木の発生および直径成長と樹冠との相関関係を確認した上で、林分密度の変化に応じた樹冠の動態を表現できるモデルを構築することとする。以下に、(1)枯死木、直径成長と樹冠との関係、(2)樹冠の動態モデルについてわけて論じる。

1. 枯死木、直径成長と樹冠との関係 まず、樹冠量に応じた直径成長や枯死木の発生状況を明らかにすることにより、人工林における樹冠と樹幹の関係を分析する。具体的には、立木の生産量と消費量のバランスという生態学的根拠を考慮する見地から、同化器官である樹冠の情報として樹冠長を、非同化器官である樹幹の情報として樹高を採用し、両者の比（樹冠長比（%））に応じた自然枯死と直径成長を分析する。ここで、樹冠長比は下式より算出することとする。

$$\text{樹冠長比} = (\text{樹高} - \text{枝下高}) / \text{樹高} \times 100 \quad (1)$$

そのうえで、単木ごとに樹冠長比に応じた直径成長率（%/年）をプロットし、樹冠と直径成長との関係を検討する。同時に、対象林分における枯死木を抽出し、樹冠長比に応じた自然枯死の発生状況を調べる。

2. 樹冠の動態モデル 次に間伐、無間伐の各試験地データによって、林分密度の変化に対する樹冠の応答を調べ、それをもとに密度管理に応じた樹冠長推定モデルを構築する。この際、枯上がりによって上昇した枝下高は、以後、下降することないと仮定し、樹冠長は樹高成長 (ΔH) から枝下高の上昇 (ΔCu) を差し引いた分だけ変動することとした。そのうえで、期首と期末の林分密度の変化に応じた樹高と枝下高の増加分の比 ($\Delta Cu / \Delta H$ ：以下、“枯上がり率”と記す) をプロットし、近似曲線をあてはめて密度管理に伴う樹冠の動態をモデル化した。ここで、林分密度の変化は人工林における平均的な密度管理を表す平均管理曲線(12)との距離の変化によって表すこととし、下式より算出する。

$$\begin{aligned} \Delta R &= (K - a \log D_1 - \log N_1) - (K - a \log D_2 - \log N_2) \\ &= a (\log D_2 - \log D_1) + \log N_2 - \log N_1 \end{aligned} \quad (2)$$

R ：平均管理曲線との距離

K, a ：パラメータ

D_1 ：期首の平均胸高直径 (cm)

D_2 ：期末の平均胸高直径 (cm)

N_1 ：期首の立木密度 (本/ha)

N_2 ：期末の立木密度 (本/ha)

さらに、構築したモデルをシステム収穫表LYCSに組み込んだ上で、モデルの適合性を現地データによって検証する。具体的には試験地の間伐履歴をLYCSに入力し、出力された直径と立木密度から求めた ΔR を上述の近似曲線に代入して枯上がり率を推定する。さらに、出力された樹高成長量と枯上がり率から、樹高と枝下高の推移を求め、樹冠長の動態を推定することとする。なお、以上の推定は林分単位で行い、推定値と実測値との比較をおこなう。

III 結果と考察

1. 枯死木、直径成長と樹冠との関係 試験地で得られた樹冠長比と枯死木、直径成長との関係をプロットしたグラフを図-1に示す。

図-1のように、樹冠長比の貧弱な林木ほど枯死しやすく、直径成長率も小さくなる傾向が認められた。図-1における枯死木はすべて無間伐試験地で確認されている。これは、種内競争の激化に伴う樹冠の減少によって生産量が消費量を下回り、立木本数が減少することを意味していると考えることができる。また、既存のシステム収穫表の多くは間伐遅れによる自己間引きを考慮してこなかったが(5)，樹冠長比と自然枯死による本数減少の関係をモデルに組み込めば、高密度林分の収穫量を正確に予測できる可能性が高い。

同時に、図-1から、樹冠長比が高いほど直径成長は顕著である傾向が明らかになった。このことは、樹冠が増加するほど生産量が消費量を上回る結果、林木の成長が促進されることを示すものであり妥当である。なお、既存のLYCSを極端な低密度林分に適用すると、実際の直径成長に対して大幅な過小推定となることが報告され

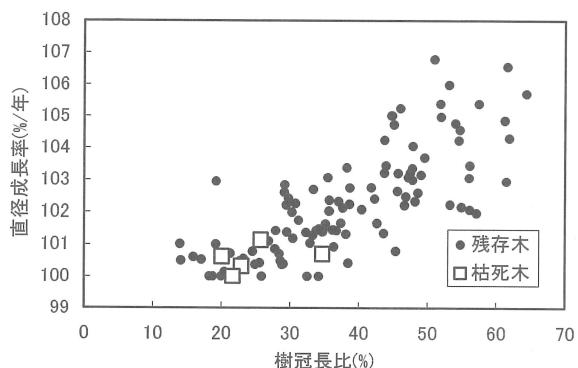


図-1 樹冠長比と直径成長率および枯死木との関係

ている(11)。極端な低密度林分でみられる肥大成長は、種内競争の緩和に伴う樹冠長比の増加に起因すると予想されることから、図-1の示す樹冠と直径成長の関係をモデル化すれば、上述のような過小推定を改善できる可能性が高い。

以上から、既存のシステム収穫表によって推定困難とされる高密度林分の自然枯死や、低密度林分の肥大成長は、いずれも後述する樹冠の動態を考慮することで表現し得ると考察された。

2. 樹冠の動態モデル 平均管理曲線との距離の変化

(ΔR) と枯上がり率の関係を図-2に示す。曲線近似によって得られた下式について R^2 は約0.6となっており、一定の当てはまりを認めることができる。

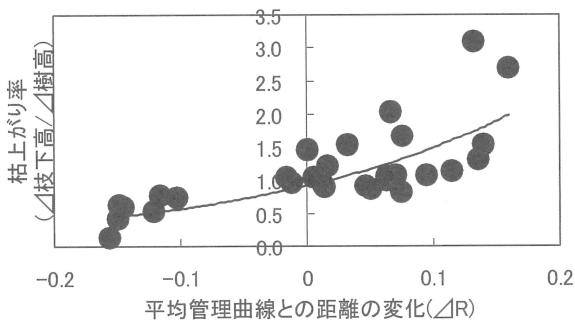


図-2 林分密度の変化と枯上がり率の関係

$$Sr = 0.92e^{4.80\Delta R} \quad (3)$$

Sr : 枯上がり率, R : 平均管理曲線との距離

また、間伐試験地においてLYCSによって出力された、樹高、胸高直径、立木本数の推移と、(3)式によって、樹冠長の推移を推定したものが図-3である。

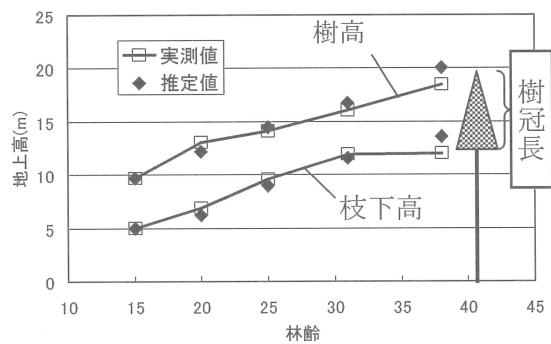


図-3 樹冠動態モデルによる推定値と実測値の比較

図-3のように、樹冠長の推定値と実測値を比較すると誤差率は概ね10%以内の範囲内に収まっており、良好な推定結果が得られた。このように、林分密度の変化に対する樹冠の応答をモデル化すれば、間伐の集約度に応じた樹高、枝下高、ひいては樹冠長比を推定することが可能である。

今後は本モデルと、(1)の樹冠長比に応じた自然枯死、直径成長率のモデル化を組み合わせ、密度管理の異なる林分の樹冠と樹幹の相互関係を統一的に表現することを試みる。

本研究を実施するにあたり、森林総合研究所物質生産研究室長の千葉幸弘氏から数多くの有益なご助言を賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

この研究は、アサヒビール学術振興財団研究助成事業、住友財団環境研究助成事業の対象研究である。

引用文献

- (1) Chiba,Y. (1990) A quantitative analysis of stem form and crown structure : the S-curve and its application. *Tree Physiol.* 7 : 169-182.
- (2) 千葉幸弘 (2005) 間伐施業とともに変化する樹冠と樹幹. *日林関東支論*56 : 151-154.
- (3) 深沢久和・飯尾淳弘・中島徹・千葉幸弘・角張嘉孝 (2003) ブナ樹冠内の光合成速度の日変化について. *日林学術講*114 : 705.
- (4) 梶原幹弘 (1985) 陽樹冠表面積と幹表面積による幹材積生長量の推定. *日林誌*67 : 501-505.
- (5) 木平勇吉 (1995) 文部科学省研究費補助金試験研究 (B) 研究報告書. 198pp., 東京.
- (6) 水永博己 (1992) 林冠動態モデルによる間伐効果予測(I) - 間伐後の林冠表面形状の動態-. *日林誌*74 : 314-324.
- (7) 中島徹・広嶋卓也・天野正博 (2006) 京都議定書3条4項林面積の算定手法の検討-岐阜県民有人工林を事例として-. *日林誌*88 : 181-186.
- (8) 中島徹・松本光朗・白石則彦 (2006) システム収穫表プログラムLYCSにおけるヒノキのパラメータ推定, 森林資源管理と数理モデル 5 : 1-10.
- (9) 中島徹・大久保圭・広嶋卓也 (2006) 北海道民有林における森林施業の実態分析. *日林北海道支論*54 : 110-111.
- (10) 中島徹・白石則彦 (印刷中) 伊勢神宮・式年遷宮への木材自給計画に対するシステム収穫表LYCSの適用. *日林誌*.
- (11) 中島徹・白石則彦・松本光朗 (2006) 両極端な林分密度に対応した森林資源シミュレーションモデルの開発. *中部森林研究*54 : 165-168.
- (12) 白石則彦 (1986) 同齢単純林の成長予測に関する研究, 東大演報75 : 199-256.
- (13) 白石則彦 (2005) 収穫予測システムの過去・現在・未来. *森林技術*764 : 9-12.
- (14) 田中邦宏・笠川裕史・松本光朗 (2004) システム収穫表LYCSに用いるパラメータの導出. *日林学術講*115 : 607.

