

第5章 総括

§ 5-1 研究成果の要約

ここ10年来、高速性と大量記性能を備えた電子計算機の発達を背景に、森林の生長過程の追跡にシミュレーション手法が応用されるようになってきた。シミュレーションの一般的効用のうち、もっとも特徴的な点は、ケーススタディが容易にできるということである。森林の生長に応用される場合には、とくにその効用は大きく発揮され、数10年あるいはそれ以上を要する生長経過について、自然的、人為的条件をいろいろ変えて、それに対応する森林構造の推移を電子計算機を道具立てとしてきわめて短時間に予測することができる。

北海道地方におけるカラマツ人工林は、約50万haの面積に達しているが、まだ造林歴が浅く、定着した材の用途を求めながら、その施業法について模索の段階にある。本研究は、こうした事情にあるカラマツ人工林を対象に、その施業法の選択に1つの手段を与えるべく、シミュレーション手法による林分収穫量の予測法の開発を目指したものである。

実際にシミュレーションを行うには、あらかじめ林分の生長構造が、プログラムに組み込まれて電子計算機の記憶部に入力されていなければならない。すなわち、アルゴリズム化を前提とした形での林分の生長構造のモデル化が必要である。上述したシミュレーションの効用やその結果の一般性は、あくまでもそこに組み込まれているモデルの適否にかかっている。もとより複雑な森林の生長構造を余すことなくモデル化することは不可能である。肝要な点は、いかにして森林生長の支配的法則性をモデルに持ち込むかということである。

本論文の第1章で、いままでに報告されているシミュレーションによる林分生長モデルの主なものをあげて検討を加えた。その多くは、林分の閉鎖にともなう立木間の種内競争のモデル化が研究対象とされており、単木の生育空間という概念をもとに、単木の受ける競争の度合いを幾何学的なモデルで表わす試みが主流をなしてきている。

これらの研究成果は、林分生長の予測の面では、それなりの評価はなされるが、シミュレーション手法の特徴である林分の生長過程についての理論の検証という観点からは、そのモデル化の背景となる生態学的な裏付けに乏しく、その点では説得力の弱いものといえる。

第2章においては、林分の生長過程のモデル化を図ったが、上述した観点と反省の上に立って、まず対象となる現象についての生態学的知見と観察結果をよりどころに、理論の構成あるいは仮説の設定を行い、その上に立ってモデル化を進めるという手順をとった。その結果、林分の樹高生長と立木の直径生長に関する次の3つの部分モデルを提示した。

(1) 林分樹高の生長モデル

一斉人工林にみられる立木間の樹高差は、林分の生長にともなって次第にその差を広げてゆく。このような個体差をもたらす要因を見いだして、それとの因果関係を決定論的に求めることは難しく、また、よりどころとなる研究成果も見当たらない。そこで個体差を主に不確定的な個体変動によるものとみなし、樹高生長について、次のような回帰モデルを構成した。

$$\Delta H_t = \Delta \bar{H}_t + \rho_{H_{t-1}, \epsilon_t} \frac{\sigma_{\epsilon_t}}{\sigma_{H_{t-1}}} (H_{t-1} - \bar{H}_{t-1}) \begin{cases} + \epsilon_t \\ - |\epsilon_t| \end{cases} \quad \dots (5.1)$$

このモデルは、ある地位のt年生に達した林分における各立木の樹高生長量(ΔH_t)は、それぞれの期首の樹高(H_{t-1})の影響を受けるが、同時に不確定的な変動に支配されることを表わしている。各項の因子の意味は次のとおりである。

\bar{H}'_t ; t年における林分の上層木(被圧や被害によって樹高生長を阻害されない立木)の平均樹高で, 地位と林齢によってきまる林地固有な値である。

$\Delta H'_t$; 上層木平均樹高のt年における生長量で, $\bar{H}'_t - \bar{H}'_{t-1}$ によって求められる。

$r_{H'_{t-1}\Delta H'_t}$; t年における上層木の期首の樹高(H'_{t-1})と連年樹高生長量($\Delta H'_t$)との相関係数で, 現実林分の上層木の測定値による分析から, ほぼその値は0.3と推定された。

$s_{\Delta H'_t}^2$; t年における上層木の連年樹高生長量の分散である。上と同様に上層木の樹高生長の分析値から, その変

$$\sigma_{H'_t}^2 = \sigma_{H'_{t-1}}^2 + \sigma_{\Delta H'_t}^2 + 2(\sigma_{H'_{t-1}} \sigma_{\Delta H'_t} \rho_{H'_{t-1}, \Delta H'_t}) \quad \dots (5.2)$$

動のオーダは, 変動係数にしてほぼ20%と推定された。

$s_{H'_t}^2$; t年における上層木の樹高分散でその推移は, 次の漸化式で求められることを示した。

$$H_t = H_{t-1} + \Delta H_t \quad \dots (5.3)$$

ϵ_t ; 平均値0, 分散 $s_{\Delta H'_t}^2 (1 - r_{H'_{t-1}\Delta H'_t}^2)$ の正規分布にしたがう互に独立な確率変数。この項の符号は, 期首の樹高が林分の平均力枝高より高い立木(上層木)については+, 平均力枝高以下の立木(下層木)については-をとる。

このモデルによる林分の樹高生長のシミュレーションは次の手順となる。まず, 対象林分の地位に応じた上層木平均樹高と初期林分の樹高分散を入力する。上で推定された $r_{H'_{t-1}\Delta H'_t}$ および上層木の迎年生長量の分散($s_{\Delta H'_t}^2 = 0.04 \Delta \bar{H}'_t^2$ の値をパラメータとして, (5.2)式によって当年の樹高分散を算出する。つづいて(5.1)式に同じパラメータを用い, また電子計算機内で正規乱数を発生させて ϵ_t を求め, 単木ごとの連年樹高生長量を順次算定する。この結果からそれぞれの単木の当年期末における樹高(H_t)を

$$H_t = H_{t-1} + \Delta H_t \quad \dots (5.3)$$

によって定める。以下年齢を進めて同様な手順を繰り返す。

上のシミュレーションによって, 現実林分に近似する樹高分布の推移パターンが実現され, このモデルが一般的に林分の樹高構成の成立過程を説明するものであるという検証をえた。従来林分の樹高生長については, 地位指数曲線のように林分の平均樹高の生長傾向に関する研究が主で, その生長構造の解析的な研究はほとんどみられなかった。ここでえられた成果は, この面での1つの方向を提示したものといえよう。

(2) 単木の占有面積モデル

ここでいう占有面積とは 林分内で各立木が優占的に利用している生育空間の平面範囲と定義されるものである。立木の樹冠の拡張は, 立木による空間利用の具体的な形態を示すものとみられる。百陽樹であるカラマツの, 一斉人工林では, 過密状態のまま壮齢に達した林分でも, 立木の樹冠が相互に深く交差することはない。したがって, 上の定義による占有面積と樹冠の投影面積とは, 当然近似したものにならなければならない。

上の定義を満たす占有面積を画定するために次のメッシュ法を導入した。すなわち, 林分の立木位置図上を方形のメッシュでカバーして, 各格子点ごとに順次その点を占有する(もっとも利用度の高い)立木を判定し, 同じ立木に占有されている格子点群の面積範囲をその立木の占有面積とする方法である。

各格子点を占有する立木の判定は, 次の判定式によった。

$$SF_{ij} = (R_{oj} / L_{ij}) \cdot CF_j \quad \dots (5.4)$$

ここで, SF_{ij} はi格子点におけるj立木の判定因子, L_{ij} はi格子点とj立木間の距離
その他の因子は, それぞれ次のような意味をもつものである。

R_{oj} ; 立木が隣接木の影響を受け始める直前の状態(疎開木)の樹幹距離の1/2の長さで, 樹高 H_j の立木については

$$R_{oj} = \frac{1}{2} H_j^{0.8661} \quad \dots (5.5)$$

で与えられる。 R_{oj} は立木の潜在的な影響範囲を意味し、これを立木の有効占有半径と呼んだ。

(R_{oj} / L_{ij}) の項は地点の利用度が立木の有効占有半径に比例し、立木までの距離に反比例することを示している。

FC_j : 立木間の樹冠の拡張競争を考慮するための重みで、ここでは立木の受光量に直接関係する樹高を用いた。すなわち

$$CF_j = H_j \quad \dots (5.6)$$

結局上の関係から判定因子は

$$SF_{ij} = H_j^{1.8961} / 2L_{ij} \quad \dots (5.7)$$

となり、 i 地点の近くの立木についてそれぞれの判定因子を計算して、最大の値を示す立木がその地点の占有木と判定される。

21 年生の無間伐林の立木位置図を電子計算機に記憶させ、0.5m のメッシュでカバーし、上の手順によって各立木の占有面積を画定した。このモデルによる占有面積と実測によって求めた樹冠投影面積を比較した結果、両者の間に満足すべき比例関係(相関係数 0.94)が認められた。

林分中で占める各単木の占有面積については、すでに BROWN⁽⁸¹⁾ (1965)によって、隣接木との距離の垂直 2 等分線の交点を結んでできる多角形の面積を求める APA 法が提案されているが、ここで提示した占有面積は、立木間の競争関係にも考慮が払われており、より生態学的な意味をもつものとして提案できるものである。

(3) 樹高対直径の相対生長モデル

一斉人工林の生長構造のモデル化に当って、幹部の肥大生長に対する立木密度あるいは競争効果とその中心的な課題となる。本研究では、前項で提示した単木の占有面積をもとにしてこの現象のモデル化を図った。

1) 無間伐(占有面積一定)モデル

まず、立木の閉鎖過程に対して次の基本的な仮定を立ててモデル構成の出発点とした。すなわち、『林分中で占める立木の占有面積には両端が存在する。その上端は、幹の肥大生長が最大となる占有面積で、そこに生立している立木は、隣接木によって妨げられることなく自由にその樹冠を拡張することができる。その下端は、幹部に対する樹冠部の割合が減少して、幹下部の肥大生長が停止するときの占有面積で、そこに成立する立木は隣接木によって被圧を受け枯死直前の状態にある』。

上の両端における立木の形態について、それぞれ次のことを明らかにした。

疎開木の相対生長関係；常に上端の占有面積のもとで生長する立木を疎開木と呼ぶ。疎開木は、地位に関係なく生育段階(樹高)に応じた一定の樹形をなす。すなわち、疎開木の測定によって各部分間に次の相対生長関係が求められた。

疎開木の相対生長関係($y = ax^b$)

生長部分		相対生長係数 h	始原生長指数 a	式 No.
x	y			
胸高樹高* (m)	胸高直径 (cm)	1	2.032	(5.8)
樹冠長 (m)	樹冠幅 (m)	0.8961	0.790	(5.9)
樹高 (m)	樹冠長 (m)	1	0.785**	(5.10)
樹高 (m)	樹冠幅 (m)	0.8961	0.636	(5.11)

注) * 胸高から梢端までの樹高(総樹高 - 1.3),
 ** 樹冠長比(樹冠長/樹高)に相当

閉鎖限界時の樹冠長比；自然枯死木の生じている過密な林分において、胸高直径の生長が停止して、枯死に近い状態にある立木は、いずれも樹冠長比（樹冠長/樹高）が著しく低下していることが観察され、樹冠長比がほぼ0.160に達するとその立木は枯死するものと推定された。

以上の基本的な仮定と観察結果から、一定の占有面積のもとで生長する立木の閉鎖過程について、次のような経過が考察される。すなわち、立木はある樹高（疎開樹高(H_0)と呼ぶ）に達すると閉鎖効果を受け始める。この直前の状態にある立木が疎開木で、このときの樹冠長比は0.785((5.10)式)である。一定の占有面積における立木の着葉量には限界があり、立木の樹高生長にともなって、樹冠下部の枝葉から順次枯れ上がり、次第に樹冠長比が低下し、ある樹高（閉鎖限界樹高(H^*)と呼ぶ）に達すると、その樹冠長比が、0.160 となり枯死するに至る。この全過程を通じて、閉鎖木の樹冠長と樹冠幅との間には、疎開木と同様な相対生長関係((5.9)式)が保たれている。すなわち、閉鎖木はそれと同じ生育段階に達している疎開木の樹冠下部が枯れ上がりによって失われたものとみなされる。

閉鎖度；の考察結果から、立木の連鎖の進行度の指標として、同じ生育段階の疎開木の樹冠幅を基準にして、枯れ上がりによる樹冠幅の減少分をとり、次式による閉鎖度を導入した。

$$P_i(H) = \frac{W_0(H) - W_{ci}(H)}{W_0(H_i^*) - W_{ci}^*}, \quad (H_0 \leq H \leq H_i^*) \quad \dots (5.12)$$

ここで添字 i は立木の占有面積が \bar{S}_i であることを示す。 $W_0(H)$ 、 $W_0(H_i^*)$ はそれぞれ樹高 H および H_i^* の疎開木の樹冠幅； $W_{ci}(H)$ は樹高 H の閉鎖木の樹冠幅、 W_{ci}^* は閉鎖限界樹高に達したときの閉鎖木の樹冠幅 $W_{ci}(H_i^*)$ 。

幹の肥大生長は、樹冠層の垂直分布と密接な関係にあることが明らかにされており、一般に幹下部の直径生長は枝下高が高くなるほど低下する。ここでは、樹高を幹部の上長方向、樹高直径をこの位置における幹部の水平方向の生長部分とみなし、また、両者は共に自己増殖過程であるとの前提で、疎開木で成立している両者の相対生長関係を拡張して、次式で示す閉鎖の全過程における樹高対直径の相対生長モデルを提示した。

$$\frac{dD_i}{D_i} = \frac{dH_i}{H_i} |1 - P_i(H)|, \quad (H_0 \leq H \leq H_i^*) \quad \dots (5.13)$$

ここで、 D_i は一定の占有面積 \bar{S}_i をもつ立木の胸高直径
上式の積分型

$$D_i = 2.032 H_i \exp \left| - \int_{H_0}^H \frac{P_i(H)}{H_i} dH_i \right|, \quad (H_0 \leq H \leq H_i^*) \quad \dots (5.14)$$

は、一定の占有面積 \bar{S}_i を有する立木の樹高生長にともなう胸高直径の推移を表わすモデルとなる。

上式の数値計算を行うため、全く同じ大きさの立木が方形に配置し、立木密度が i 本/ha の仮想林分を考えて、疎開樹高および閉鎖限界樹高をいくつかの仮定のもとに求め次の結果をえた。

疎開樹高； $H_0 = \bar{S}_i^{0.433} \quad \dots (5.15)$

閉鎖限界樹高； $H_i^* = 8.1306 \bar{S}_i^{0.433} \quad \dots (5.16)$

ここで $\bar{S}_i = 10,000/i (m^2)$

また閉鎖度は近似式

$$P_d(H) = \frac{H - H_{0i}}{H_i^* - H_{0i}} \quad (H_{0i} \leq H \leq H_i^*) \quad \dots (5.17)$$

で十分であり、これによって(5.14)式の数値計算が可能となる。

2) 間伐モデル

間伐によって閉鎖林分中の立木が除去されると、それに隣接する立木の生育空間が広がり、その立木の肥大生長が促進される。このような間伐による疎開効果は、上で定義した閉鎖度を用いて、立木の生育段階における閉鎖度の変化過程として表わされることを示した。すなわち、間伐木の占有面積は、間伐後それに隣接する立木によって占められ、占有面積の拡大をもたらす。

上で用いた仮想林分では、間伐後に立木が自動的にもとの方形配置に再配列することによって対応される。占有面積 \bar{S}_i の仮想林分が樹高 H_i' の段階で間伐を受け、占有面積が \bar{S}_j に変わるとすると、閉鎖度の定義から間伐直後の閉鎖度 $P'_{ij}(H_i')$ は

$$P'_{ij}(H_i') = \left(\frac{\bar{S}_i}{\bar{S}_j} \right)^{0.88} P_d(H_i) \quad \dots (5.18)$$

ここで、添字 ij は間伐によって占有面積が \bar{S}_i から \bar{S}_j に変わったことを表わす。と導ける。また、間伐林分の閉鎖度は

$$P_{ij}(H) = \frac{1 - P'_{ij}(H_i')}{H_j^* - H_i'} (H - H_i') + P'_{ij}(H_i'), \quad (H_i' \leq H \leq H_j^*) \quad \dots (5.19)$$

によって推移することが示される。2 回目以降の間伐も同様な過程をたどる。すなわち、間伐の都度立木は新たな閉鎖系を推移してゆくことが示される。この閉鎖モデルを用いれば、樹高対直径の相対生長モデルを間伐林分にも拡張される。すなわち

$$\frac{dD_{ij}}{D_{ij}} = \frac{dH_i}{H_i} T_{ij} (1 - P_{ij}(H)), \quad (H_i' \leq H \leq H_j^*) \quad \dots (5.20)$$

ここでは、 T_{ij} 疎開にともなう葉の同化能率の向上という立木の生理的な反応を表わすもので、いわば樹種特性にかかわるパラメーターである。ここでは、便宜的に間伐後の樹冠幅 (Wc_{ij}) と間伐後の林分の立木と同じ占有面積の無間伐木の樹冠幅 (Wc_j) との比 (Wc_j / Wc_{ij}) を当てた。

2 回目以後の間伐による新たに閉鎖系については、系ごとに同様なモデルが適用できる。すなわち、(5.20)式の積分型にそれぞれの間伐時の樹高と胸高直径を初期条件として与えることによって、立木の生育段階にともなう胸高直径の推移を表わすモデルが導かれる。

以上のモデル誘導の手段として、全く同じ大きさの立木が方形に配置している仮想林分を対象としたが、この仮想林分の占有面積 \bar{S} は、その立木構成から明らかに前項で提示した単木の占有面積の定義に適合するものであり、ここで導かれたモデルは、単木の占有面積を介してただちに現実林分の各単木に適用することができる。

以上の樹高対直径の相対生長モデルは、直径生長を自己増殖過程として取り扱っている点に大きな特徴をもっている。そのモデル構造には、立木の生長にともなう幹下部の直径生長への閉鎖効果の生態学的な機構が内在されており並木の閉鎖履歴が、以後の直径の総生駈に影性及ぼし続けるという法則性を表われている。

第3章において、上の部分モデルを結合して、次のような構造の林分生長のトータルモデルを構成した。すなわち『林分の樹高は、年齢と地位に生じて生長するが、各立木の樹高は年々の生長に不確定的な個体変動ともない被圧などによって個体差を生じる(林分の樹高生長モデル)。また、林分内において各立木はそれぞれの大きさ(樹高)に応じて占有面積を拡張し合う(単木の占有面積モデル)。その結果、それぞれの樹高生長と確保した占有面積に応じた幹の肥大生長を遂げる(樹高対直径の相対生長モデル)』。このモデル構造にしたがって、林分生長のコンピュータ・シミュレーション・システム(以下 SMSGL と略称する)を組み、そのプログラミングを行った。

SMSGL で要求される入力データは、上層木平均樹高の生長曲線(H'_t)、立木の位置を定めるために必要な植栽間隔および初期林分(5年生)の本数枯損率である、入力されたデータにしたがって、まず初期林分(5年生)の立木配置(立木位置、樹高、胸高直径、樹冠サイズ)が定められる。以下、指示された伐期齢まで年々単木ごとに生長、を遂げさせる仕組となっている。この生長の過程において、立木間の競争(被圧)によって枯死する立木が判定される。さらに、あらかじめ間伐の基準(間伐時の平均樹高あるいは林亀間伐本数)を指示すれば、それにしたがって間伐が実行される。以上の生長経過は5年階ごとに、また間伐が実行される場合には、間伐の前後にそれぞれ林分表として出力される。その内容は単木ごとにその立木位置、樹高、胸高直径、幹材積、立木の閉鎖度、樹冠サイズなどである。

SMSGL によって、同一地位で初期本数密度を異にする3林分を対象に、無間伐のまま60年生に達するまでのシミュレーションの実行例を示し、えられた結果から SMSGL の林分生長機能に検討を加えた。

樹高生長；林分の生長過程で、下層木が発生するが、隣接木の被圧を受ける機会が多く、順次枯死し、その結果、樹高分布は全生育期間を通じて正規分布型を保って推移する。モデル林分の樹高分布をこれとほぼ等条件にある現実林分の樹高分布と比較したが、両者の間に十分な近似性を認めることができた。また、林分の平均樹高は、立木密度の違いによる差は認められず、立木密度による響影の少ないという定説と一致する結果がえられた。

立木本数；林分の平均閉鎖度は、初期本数密度の高い林分ほど早い生育段階で上昇するが、その値が0.60前後に達すると、被圧による自然枯死木が発生し始める。その後立木本数の減少が続くが、林分の生育段階が十分に進んだ後には、初期本数密度のいかにかわらず、生育段階に応じた一定の立木本数に収斂する傾向が示された。この段階では林分の平均閉鎖度は一定値(ほぼ0.82)となった。

直径生長；二林分の直径分布は、樹高の場合と同様に正規分布型を呈しながら推移する。また、樹高分布と同じように、現実林分の直径分布と比較したが、この場合も満足できる近似性を認めることができた。一方、平均胸高直径は、林分の生育段階の進むにつれて、林分間に差を生じ、初期本数密度の高い林分ほど小さく、生育段階が十分に進み、平均閉鎖度が一定となる段階においてもその差は解消されずに推移するという傾向が実現された。

ha 当り幹材積；早い生育段階のうち、平均胸高直径と同じ傾向で推移するが、立木本数が一定値に収斂する段階に達した以後の林分では、頭打状態で推移する。この幹材積の限界値は、初期本数密度の高い林分ほど低い値となることが認められた。一方、枯死木の幹材積まで含めた幹材積総生長量は、林分間に差が認められず、同一地位の林分から一定期間に生産される幹材積は、初期本数密度のいかに問わず一定であるという法則性が示唆された。

無間伐林分は、林分の閉鎖後もつぱら自然の法則によって生長を遂げる林分であり、それだけに林分生長の基本的な法則性、とりわけ種内競争と林分生長との関係を探りだすために有効な実験材料である。このような無間伐の一斉林型の林分については、自然間引の3/2乗則の成立が広く認められている。上述した SMSGL によって実現された無間伐モデル林分の生長をこの3/2乗則と対応して検討した。この結果、モデル林分の本数密度と平均樹高の間には、3/2乗則の成立することが認められたが、平均胸高直径および幹材積については、立木密度のいかに問わず、十分に生育段階の進んだ後には、一定値に収斂するという3/2乗則とはやや異なった関係が示された。この傾

向性については、直径の総生長量がその時々閉鎖度の影響を受ける年々の生長量の積み重ねられたものであるという視点から説明することができ、モデル林分で実現された生長傾向は、十分に妥当性があるものと考察され、間接的に SMSGL の林分生長機能を評価することができた。

第 4 章においては、SMSGL を利用した林分収穫量および林分生長量の予測法を提示した。前者は、林分の地位、植栽本数および間伐基準の 3 つの条件を与えてシミュレーションを実行するもので、いわば与えられた条件での不特定の林分を対象とする間接的な林分生長量の予測法である。一方、後者は SMSGL の初期林分に代って、すでに構造の定まっている特定な現実林分の立木配置を入力し、以後の生長をシミュレーションによって実現させ、これを林分生長量の予測値とするもので、直接的な林分生長量の予測法といえるものである。

収穫予測法については、植栽本数を同一にし、地位指数 24, 20, 16 の地位階と、疎、中庸仕立の間伐基準を組合せ、6 種の林分を対象に閉鎖度の高い立木から順次選木する(下層間伐的)という間伐法を採用し、その実行例を示した。この例の予測結果を信州地方のカラマツ林分収穫表、林分密度管理図および著名なカラマツ人工林の間伐試験林の生長経過と比較対応して、SMSGL の林分収穫量の予測機能について検討した。

林分樹高の予測値については、信州地方のカラマツ林分収穫表の樹高生長と比較した結果、両者はよく近似した傾向をたどることが認められた。また、林分の各生育段階における平均胸高直径と ha 当り幹材積の予測値を、信州地方カラマツ林分密度管理図上で、予測林分と同様な間伐基準をとった場合のそれぞれの値と比較対応した。その結果、両者は比較的近似しているが、予測値は密度管理図による場合に比べて、間伐効果を大きく見込む傾向を示した。すなわち、疎仕立の林分ほど立木の肥大生長が促進し、立木本数の減少にもかかわらず、林分の蓄積はむしろ高くなるという傾向である。このような傾向は、長期にわたるカラマツ人工林の間伐試験林でも共通して確認されており、極陽樹であるカラマツ人工林における一般的な傾向と考察されているところである。

以上の実行例の検討結果は、間接的ではあるが SMSGL の林分収穫量の予測機能に一応の評価を与えるもので、SMSGL を一分収穫量の間接的な予測法に利用できる見通しをえることができた。

予測結果を実用の便に供するため、間伐基準別に地位ごとに林分収穫表と同様な形式で表示した。ここでは 2 種の間伐基準を例示したに過ぎないが、想定される各種の施業についてのシミュレーションの結果を同様に作表しておけば、業法の選択に有効な手掛りを与えることができるであろう。

生長予測法の実行例として、21 年生に達している無間伐林分を対象にして、今後も無間伐のまま経過するものとして、その予測法と予測結果を示した。予測値は、5 年階ごとに期首の直径階を基準とする林分生長予測表に取りまとめた。予測値の適合性については、対象林分の今後の生長に待たなければ直接確かめることはできないが、期首の直径階ごとの平均直径と期間の直径生長量との関係、および、平均直径対平均樹高の関係をとりだしてカラマツ人工林の収穫試験地の実測値による同じ関係と比較した。この 2 つの関係は、ともにそれぞれ予測値と実測値との間に相似性が認められた。

上の因子間関係は、ともに林分の生長構造の基本的関係を表わすもので、間接的ではあるが予測値の妥当性を認めることができた。

同じ方法をすでに幾度かの間伐を経てきた林分にも適用することができる。この場合には、疎開係数の定め方に問題を残しているが、将来の間伐を見込んだ動的な生長予測も可能であり、シミュレーションの効用を十分に活した林分生長量の予測法として利用できる見通しがえられた。

§ 5 -2 結び

本研究によって、シミュレーション手法による林分の将来生長の予測法について、その可能性の論議を越えて、一応実用に供しうる見通しを与えることができた。しかし、基礎データの不足もあってモデルの構成、コンピューター・アルゴリズム、予測値の適合性などの面においてなお十分といえない点が残されている。最後に、本研究を通してえられた反省をもとに、主な問題点をあげて、今後の研究の参考に供したい。

1) モデル化の理論面

シミュレーションの中核的なモデルとした樹高対直径の相対生長モデルは、疎開木の測定値によって実験的に求められた生長部分間の相対生長関係を基本とし、これを閉鎖木に拡張したものである。このモデルは、トドマツにも適合することが確かめられており(阿部¹⁾1976, 1977)、立木の閉鎖効果に対して新たな見方を提示したものとしよう。しかし、このモデルは、立木が外因力によってその生長を阻害されないという前提に立つもので、風衝地帯の立木や、高齢木にみられる樹冠の不整形を呈する立木に対して適用することはできない。これについては、立木の内因的生長能が、外因的な作用力によって弱められたためと説明できるが、モデルにこの関係を組み込めば、その適合の範囲をより拡大することができよう。

上のような外因力の導入も含めて、本研究でも提示したように、立木の肥大生長と樹冠の垂直分布との関係による幹形の形成過程に根拠を求める方が、より一般的な閉鎖効果を表わすモデルを導くことができよう。そのためには、葉量と関連した立木の物質経済の面からの生長解析を進めることが必要である。

2) 予測値の適合性

同じ生育段階に達し、同じ本数密度の林分でも、それぞれの閉鎖履歴によって立木の構成内容は異なるものとなる。したがって、シミュレーションによる予測値の適合度を確かめるには、施業経過の明らかな林分を対象として、この林分と同じ地位と施業条件での予測値を求め、これと対象林分の生長経過とを比較しなければならない。この場合でも、モデルに組み込まれていない被害などの 2 次的要因の影響を考慮した上での対比が必要である。このような対比データは、よく管理された固定標準地の長期間にわたる継続的な視察によって求められるものである。

しかし、実際に上のような基礎データが整っていることはむしろ希れであり、このような現実でこそシミュレーションも意味をもつわけである。本研究も基礎データをもたぬままに、モデルの構成に当て必要に応じて測定するという全体的な関連性のないデータに頼る結果となった。したがって、予測値の適合性を直接確かめることはできず、もっぱら間接的な比較を試みる程度に終始した。

シミュレーションによってえられる結果は、演繹的にあるであろう林分の姿を示すものである。そしてその可否は、対象林分との対比を通じて帰納されるものである。このような繰返しを経て、林分の生長構造が正しく把握され、適確な林分生長の予測を果せるようになるのであろう。本研究は、その第 1 段階を果したに過ぎず、今後さらに基礎的な林分生長の測定データの積み重ねを図りながら、モデルの検証、改良という段階を進めなければならない。

3) コンピューター・アルゴリズム

SMSGL によるシミュレーションは、1 回の試行に約 4 時間を要した。最近、電子計算機はより高速化、大量記憶能を高める趨勢にあるので、計算時間は絶対的なものではないが、計算機使用の割り当て時間の制限や費用などの実際面からは、計算時間の短縮を図る工夫が必要である。SMSGL の実行でもっとも時間を要したシミュレーションは、メッシュ法による占有面積の求積である。シミュレーションの実用性をたかめるには、この計算法の簡略化も今後の問題点の 1 つである。一般的に計算の簡略化を強調すれば、求める目的が薄れてしまうおそれがあり、その折衷をどこで求めるかは、コンピューター・シミュレーションの組み立て上に見逃せない重要な点である。