

生 長 モ デ ル

新大農 高田和彦

生長モデルは、木梨¹⁾によれば、

- (1) 単木単位で考え、樹木間の距離情報を必要とするもの
 - (2) 単木単位で考え、樹木間の距離情報を必要としないもの
 - (3) 林分単位で考えるもの
- の3つにわけられる。

(1)は、各樹木についての位置情報を用いるために、コンピュータの多量の記憶容量と、高速な演算能力を必要とするという短所がある反面、生長の生物学的意味付け、すなわち、競争過程をモデル化し易いという長所をもっている。

したがって、ここでは、(2)、(3)は省き、(1)のモデルの幾つかについて、発表年順にのべることにしたい。

- (1) 高田和彦 1961年²⁾

高田は、甲斐原の協力をえ、コンピュータが使用出来ない時代であったので、手計算で実行するという困難な条件のもとで、非常に単純ではあるが、スギについてつきのような生長モデルにより生長予測を行った。

基本の仮定は、樹高生長は、その樹木の受光量のみに関係し、受光量が大になると生長量も大になるが、一定量以下になると枯死するということである。この受光量は、生長予測木の樹頂と、近接木の樹木の樹頂との角度(受光角LA)で表わしうるものとした。

$$\Delta H = f(LA)$$

- (2) NEWNHAM R. H. 1964年³⁾

これは、コンピュータを用いた本格的な生長予測である。

Douglas Fir と Lodgepole Pine についての生長モデルは、隣接木との競争のない樹木の胸高直径生長は、疎開木の生長と同じであるとし、生長が一定量以下になると枯死するという仮定に基いている。競争の表わし方としては、高田が垂直方向で

論じたのに対し、水平方向で考え、生長予測木の樹冠が、隣接木の他の樹冠と重なり合う弧の中心角の和を用いている。

(3) MITCHELL K. J. 1969年⁴⁾

White Spruce について、NEWNHAM と同様な樹冠を用いた生長モデルであるが、樹冠は拡張し隣接木の樹冠と生育空間について競争するというように、実際の競争の機構にしたがっている。したがって、樹冠の形は不規則であり、適当な空間がなくなると枯死する。

(4) 高田和彦 1971年⁵⁾

(1)の方法を、コンピュータを用いることが可能であるということを前提として補い、エゾマツ、トドマツの10年間の生長予測を行った。生長モデルは

$$\Delta G = a + bD + cLA + d\ell$$

ここで、LA は各象限内の至近木についての受光角の平均、 ℓ は受光角を測定した樹木との距離の平均

であり、枯死は、上層木はランダムに、下層木は一定値以下の受光角になると起こると仮定した。

(5) 斎藤昌宏 1971年⁶⁾

コマツガについて、競争関係のない所ではロジスチック生長曲線により生長するが、競争関係が生じると、受光量により差が生じるものとし、

$$\Delta H = \lambda\ell(H - H^2/H_{max})$$

ここで、 H_{max} は到達可能最大樹高、 ℓ は受光量、 λ は常数

のような生長モデルを提案した。

(6) 高田和彦 1972年⁷⁾

ヒバについて、生長モデルとして

$$\log \Delta G = a + bD + cLA + d\ell$$

を用い、ヒバは陰樹であるので、被圧枯死は考えず、上、下層ともランダムに枯死するものとした。

(7) 高田和彦 1972年⁸⁾

スギ、ヒノキについて、受光角と距離の代わりに、水平方向と垂直方向の角度加算法を用いてみたが、(4)でのべたモデルの方が精度がよかったので、(4)のモデルにしたが

って生長予測を行った。

(8) Ek. A. R. 1973年⁹⁾

樹木位置，樹高，樹合，枝下高，樹種等を人力情報とし，潜在的生長関数を競争の程度により変型したものをを用いて生長モデルを作った。競争の指数は，相対的樹木の大きさ，群りの度合，耐陰性等により表わし，枯死は生存確率が一定値以下になると起こる。

(9) 石田正次 1974年¹⁰⁾

生長モデルは，

$$\Delta H / \Delta T = P(Q - H)$$

ここで，Pは樹種，受光量，被圧度に関係する因子，Qは樹種により決まる常数で表わされ，枯死は被圧度（樹幹の重複率）が一定値をこすと起こる被圧枯死と，樹高や樹合に比例してランダムに起こる自然枯死にわけ，更新は，一定以上の空間があると発生する補植とランダムに発生する天然更新にわけ，被害をうけると生長は休むとしている。

(10) 粟屋仁志 1974年¹¹⁾

ヒノキについて，(1)の受光角を変え，生長予測木については，樹頂の代りに樹冠長の上から2/3の点を用い，これを逆数要因とした生長モデルを表わした。

(11) 小林正吾 1974年¹²⁾

カラマツについて，

$$\Delta D = a + bD + cDAS$$

ここで，DASは水平方向の角度加算値のような生長モデルを表わした。

以上，単木単位で考えた樹木間の距離情報を必要とする生長モデルの幾つかについてのべたが，これらに対して，生物関係者は，きっと，このような簡単なモデルで複雑な生長過程を表わそうとするなんてナンセンスであるというに違いない。

確かに，このような簡単な生長モデルを単木についてあてはめてみても，あてはめた樹木についての生長過程を忠実に迎えることが出来る筈はない。というのは，このモデルには当然のこととして誤差を含んでいるので，この誤差を考慮しなくてはならないからである。

一般に誤差はモデルが簡単であればある程大きいですが、この誤差の性質を十分検討した上、誤差をモデルに導入すれば誤差の問題は一応解決される。ここで、一応とのべたのは、つぎのような理由からである。すなわち、誤差を導入しても、どの誤差がその樹木にあてはまるかは絶対に知ることが出来ず、多数回の平均的な値としてしかモデルでは論じえないからである。そうすると、1本の樹木の生長過程を知るには、誤差を導入したモデルで多数回実験をくり返して平均を求め、これを予測値とする以外に方法がないのである。この結果の精度の良し悪しは、誤差の大きさとくり返しの回数により決まり、誤差が大きいと多数回のくり返しを必要とし、誤差が小さいと少数回のくり返しで済むことになる。つまり、複雑な現実と簡単なモデルとの間の橋渡しを誤差でもって行うのである。勿論、誤差が小さいことが望ましいわけであるが、誤差が大きいのでこのようなものを用いるのはナンセンスと決めつけてしまうことも行過ぎなのである。

いままで、簡単に、「多数回実験をくり返す」とのべて来たが、このことはそう簡単なことではない。現在のかなり高速のコンピュータを用いても、樹木間の距離情報を用いた生長モデルによる生長予測の1回の試行でさえ、普通一般の統計計算に比べてみると、オーダーの違う程の計算時間がかかるので、多数回の試行の平均をとるということは、余程恵まれたコンピュータの利用者にしか実行出来ないものと思われる。このことが、この稿の冒頭でのべた木梨の分類の(2)と(3)が考慮される一つの理由でもある。

しかし、私は、事情が許すならば、つまり、より高速なコンピュータが開発され、また、我々がそれを利用し易くなるならば、生長モデルとしては、やはり、樹木間の距離情報を用いた生長モデルを利用したい気持ちである。というのは、このモデルが他のものと比べて、より生物的に現実にシミュレート可能であると思われるからである。

つぎに、生長モデルについての今後検討すべき問題について若干ふれておきたい。

第1は、枯死の問題である。いままでのモデルにおいては、一般に、枯死は被圧とランダムに2大別されているが、もう少し枯死の機構を検討する必要があるように思われる。高田が北海道北見地方のエゾ、トドを主とする天然林の6年間の枯死について調べた結果、枯死は集中的に生じ、受光角の減少による被圧枯死も傾向としては認

められるが、受光角の小さいものがすべて枯死するとはとてもいえそうもないこと、小径木の枯死は胸高直径4 cmと10 cmにピークがあることがわかった。これをどのようにモデルに組み入れるかは検討中である。

第2は、樹木位置図作製の問題である。ある特定の林分の生長予測をする時は、その林分の樹木位置図をもととするが、一般的に、平均胸高直径、平均樹高、ha当り本数等のみが与えられて生長予測を行いたい時がある。このような時にどのようにして樹木位置図を作るかがこの問題である。樹木位置の割り付けは、集中型分布として可能であるが、この位置にどのような樹種のどのような大きさの樹木が配置しているかを定めることが必要となる。これに関するモデル化は未だ殆んど行われていないが、高田が、2、3の針広混交の天然林で分析した結果からは、針葉樹のそばに針葉樹がある確率が、針葉樹のそばに広葉樹がある確率よりも高く、針葉樹と広葉樹の分布はランダムではないことがわかった。この結果もどのように樹木位置図作製に組み入れたらよいかは、枯死の問題と同様に検討中である。さらに、針葉樹と広葉樹の分布の検討と同じ方法で、大径木と小径木の分布の仕方の検討も可能であり、その結果を組み入れることも出来るであろう。

最後に、参考までに、本稿で引用した文献と引用はしなかったが生長モデルに関する文献の幾つかを附記しておく。

文 献

- 1) 木 梨 謙 吉 : Growht Model について 85 回日林講
- 2) 高 田 和 彦 1961: 受光量に基づく成長過程の擬態分析 13 回日本林学会関東支部大会で講演
- 3) Newhnam R. H. 等 1964: Development and Testing of Stand Models for Douglas Fir and Logepole Pine. For. Chr. 40.494
- 4) Mitchel K. J. 1969: Simulation of the Growht of Even-Aged Stands of White Spruce. Yale Univ. School of Forestry. Bulletin No. 75
- 5) 高 田 和 彦 1971: 林学における Simulation の研究 (6) 天然針葉樹林分における生長モデルによる短期間の生長予測について, 新潟

農林研究 23. 45

- 6) 齋藤 昌宏 1971: コメツガ林のシミュレーション, 未発表, 東大卒論
- 7) 高田 和彦 1972: 佐渡におけるヒバ天然林の生長について, 新潟農林研究 24. 43
- 8) 高田 和彦 1972: 林学における Simulation の研究 (8) スギ, ヒノキ人工林分における短期間の生長予測について, 新大演報 6. 51
- 9) EK A. R. 等 1974: Announcement: Availability of a Computer Model for Simulating Growth and Reproduction of Forest Stands of Mixed Species. For. Sci. 20. 259
- 10) 石田 正次 1974: 森林の保全と自然環境の変化に関する統計的研究 — 天然林の生長モデルとそのコンピュータシミュレーション (その 1) 統数研彙報 22. 69
- 11) 栗屋 仁志 1974: 同齢単純林における密度と成長の関係に関する測樹学的研究 林試報 265. 1
- 12) 小林 正吾 1974: 高齢カラマツ人工林の林分生長解析 — 直径変動の推移について — 85 回日林講 53
- 13) Bella I. E. 1971: A New Competition Model for Individual Trees. For. Sci. 17. 364
- 14) Botkin D. B. 等 1972: Some Ecological Consequences of a Computer Model of Forest Growth Jour of Ecology 60. 849
- 15) Keister T. D. 1972: Predicting Individual Tree Mortality in Simulated Southern Pine Plantations. For. Sci. 18. 213
- 16) Curry R. B. 1971: Dynamic Simulation of Plant Growth-Part II. Incorporation of Actual Daily Weather and Partitioning of Net Photosynthate. Transaction of the ASAE. 1170
- 17) Arney J. D. 1972: Computer Simulation of Douglas Fir and Stand Growth. Dissertation Abstract Internatinal.

- β (1972) 33(1) 8(F.A. 6339)
- 18) Hatch C.R. 1972: Simulation of an Even-Aged Red Pine Stand in Southern Minnesota. Dissertation Abstract Internatinal. β (1972) 32(11) (F.A. 6352)
- 19) Schöffner W. 1973: Vom Einzelbaumversuch zum Wachstumssimulator Allg Forst-u. J-Zng, 144 jg., 8
- 20) Väliaho H. 等 1973: A System for Simulation of the Development of Stem-Diameter Distributions. Metsantutkimuslaitoksen Julkaisuja 78(9)(F.A. 3816)
- 21) Laar A.V. 1973: Konkurrenzdruck und Zuwachs von Pinus radiata. Forstw Cbl. 92(5)261
- 22) 高 辻 正 基 1974: 植物生長の数理モデル, 数理科学 136. 57
- 23) Mitchell K.J. 1975: Stand Description and Growth Simulation from Low-Level Stereo Photos of Tree Crowns Jour. of Forestry, 73 (1)
- 24) Heggyi F. : A Simulation Model for Managing Jack-Pine Stands. IUFRO, '73, Meeting
- 25) Munro D.D. : Forest Growth Model-A Prognosis. IUFRO, '73 Meeting
- 26) Lee Y. J. : Mortality of Lodgpole Pine in Modeling. IUFRO, '73, Meeting
- 27) Clutter J.L.等: A Growth and Yield Model for Pinus Radiata in New Zealand. IUFRO, '73, Meeting