

## 樹木の生長，生長曲線および生長モデル

高田和彦\*

樹木の生長を予測することは、蓄積を推定することと共に、林業経営における最も重要な分野に属している。蓄積推定は、今後画期的な方法が考え出されない限り、現在までに一応完成していると思われることができる。反面、生長予測については、理論的生長曲線の研究はかなり進んでいるが、理論的生長曲線を実際にあてはめた時の予測の精度は必ずしも高いとは言えない。また、生長モデルも決定的なものは未だ出現していないと見るべきであろう。

筆者は、過去10数年間、断片的にはあるが、樹木の生長について種々検討を重ねて来たので、これらの結果に基いて、樹木の生長，生長曲線および生長モデルについて考察を加えることにする。

### 1 生長曲線式

#### 1 a 生長曲線式の適合度

生長曲線式の優劣を論じる時に、普通用いられている評価の基準は、生長曲線式の適合度であり、これを実測値と推定値の間の相関係数で示す場合がある。そして、この値はかなり高い値を示すのが普通である。しかし、生長曲線式の由来する連年生長量とその時点での大きさとの関係式（以下、連年生長量曲線式とよぶ）の適合度で検討すると、同じデータであっても、かなり低い適合度を示すことが多く、データによっては両者の適合度の順位は必ずしも一致しない（1）。

したがって、生長曲線式の適合度を相関係数を用いて検討する時に、生長曲線式によるのか、または、連年生長量曲線式によるのかを決める必要がある。検討の鋭敏さからみると、後者の方が好ましいが、実用的な面からは、実際に用いるのは生長曲線式であるので、前者の方が良いことになる。しかし、生長曲線式が、理論的生長曲線式と呼ばれるからには、その理論的基礎になる連年生長量曲線式の適合が良くなければならず、その為には、後者を用いるのが筋であろう。

連年生長量曲線式を微分方程式として解いてえられたものを理論的生長曲線式と呼んでいるが、連年生長量曲線式を選ぶのは、単なる曲線のあてはめでしかないとも考えることができる。こうなると、理論的生長曲線式の名称は、微分方程式を解くと言うことの意味でしかなく、元を正せば、やはり曲線のあてはめに過ぎないのではないかという疑問も生じてくる。このことが、後述の生長モデルの出現の原因とも見ることが出来るよう。

次に、理論的生長曲線式は、どれ位実際のデータに適合するのであるかを見ておく必要がある。つ

---

\* 新潟大学農学部

まり、どんな樹木でも、一つの生長曲線式にあった生長パターンを示すものであるか否かを検討しなければならない。さもなければ、理論的生長曲線に基づいて展開される生長の理論的研究は無意味なものになってしまうからである。

Mitcherlich 式, Logistic 式, Gompertz 式に対応する連年生長量曲線式を用いて、伐期に到達して伐倒した人工スギ林分の、伐採高断面における直径生長を検討した。その結果、すべての樹木に適合する式はなく、3者の中、最も多くの樹木に適合した生長曲線式は、Gompertz 式, Logistic 式, Mitcherlich 式の順であり、Logistic 式は既に生長が衰え頭打ちの状態が顕著な樹木に、Mitcherlich 式は、未だ生長が衰えていない樹木に、Gompertz 式は両者の中間の樹木に適合していることが推察された(2)。したがって、同一林分において、'すべての樹木に同一の生長曲線があてはまらない' ということは、極めて重要な事実が見出されたことになる。勿論、Richards 関数は、パラメータを変えることにより、上述の3種の生長曲線式をうることが出来、ある意味では、すべての樹木によく適合することになる。しかし、ここでは、生長パターンを見るために、3種の生長パターンを3種の生長曲線式に対応させたのである。

連年生長量曲線式または生長曲線式からの偏差には系列相関を示すものもある。そのような場合には自己回帰モデルを導入する必要がある、何次までを用いるかは、赤池の情報量規準値AICを用いればよい。3種の生長量曲線式を上記の資料について検討した結果、約50%の樹木は自己回帰モデルを用いる必要があることがわかった(3)。

#### 1b 生長曲線式の予測精度

1a で論じたことは、データの範囲内での適合度の問題であるが、生長曲線式の本来の使用目的は、生長の予測にある。つまり、ある時点までの過去のデータを用いて生長曲線式を求め、これより樹木の生長を予測することになる。したがって、生長曲線式の優劣は、生長予測の精度によって決まるといっても過言ではないであろう。1a で用いた資料に基づいてこのことを検討した結果、将来の予測可能な外挿の期間は、生長曲線式を求めるための過去のデータの期間の長短には無関係で、せいぜい1単位期間であり、殆ど予測には用いえないことが明らかになった(4)。

以上、生長曲線式について述べたことを要約すると、次のようになる。1林分内のすべての樹木に同一の生長曲線式を適合させることには無理があり、樹木によって、それぞれの生長パターンによる異なった生長曲線式をあてはめなければならない。生長曲線式による生長予測期間は、せいぜい1単位期間であり、長期間にわたる外挿は無理であると思う方がよい。したがって、このような生長曲線式の価値は、再検討する必要がある。

## 2 樹木間の生長パターンの類似性

1では、人工スギ林分の伐採高断面におけるすべての樹木の直径生長は、1つの生長曲線式でもって表すことは出来ない例を示した。本節では、さらに、しからば1林分内の個樹の生長パターンの類似性はどのようなものであるかを、生長曲線式を用いずに検討することにした。その結果、1の資料

についての定期（5年間）平均生長量の系列の各樹木間の相関係数が、すべて0.7以上を示す樹木は、約30本の樹木群のうち19-36%の間のみであり、残りの樹木は、それぞれ異なった生長パターンを示していることが認められた（5）。これらの樹木群は、主伐木であり、どちらかと言えば、生長の良い樹木に当たるので、次に、間伐木や生長の悪い樹木についても、同様な検討を行うことにした。間伐木の資料としては、M. Prodan 教授より提供を受けたドイツのトウヒ林分中の間伐木を用い、生長の悪い樹木の資料としては、名古屋大学森林経理学教室より提供を受けた、樹齢約80年、胸高直径約14cmであるカナダの Jack pine を用いた。その結果、トウヒの間伐木で0.7以上の相関係数を示す樹木は59%であり、（これに対し主伐木は、スギの場合より若干高い38%である）、Jack Pine では76-100%であった（6）。トウヒの間伐木は、胸高直径の大きさの順位が低下した樹木であり（7）、結局、生長の悪い樹木は、類似した生長パターンを示し、生長の良さが生長パターンを乱すものと考えられる。

尚、この場合には、生の生長量をそのまま用いて検討したが、別の方法としては、ある生長曲線をあてはめ、生長曲線からの偏差の類似性を用いる方法も考えられる。しかし、同齢林の場合には、樹齢効果はすべての樹木で同一と考えられるので、あえて、偏差を用いるまでもなく、生の生長量を用いて良いであろう。

以上、樹木間の生長パターンの類似性について述べたことを要約すると、次のようになる。生長の悪い樹木は、ほぼ同じような生長パターンを示すが、生長の良い樹木は、同じパターンを示すのは約30%位に減少する。このことは、生長の悪い状態に基づく基本生長パターンに、生長の良さがプラスする部分の変動が大きいことを意味しているものと思われる。

### 3 生長に影響する競争因子と生長モデル

樹木の生長は、1と2で見て来たように、一意的に決まるものではなくて、多様性をもっている。この多様性の一つの原因として取り扱われるものが、競争因子であり、多くのものが提案されている。そして、生長とこれらの競争因子との間の関係を検討する方法としては、次の2つの方法が用いられて来た。第一は、ある時点での生長量とこれらの競争因子との間の関係を調べて、有効な競争因子を見出す方法であり、第二は、生長曲線をあてはめ、種々の時点での生長曲線との偏差と競争因子との関係より見出す方法である。前者は、時間に直角方向の横断面で切ったもので、後者は、時間に平行方向の縦断面で切ったものであると見ることが出来る。

これらの方法でえられた結果を、生長モデルの組み立てに用いる時には、当然のことながら、手法は異なってくる。前者は、丁度、収穫表を調整する時に普通用いられている方法、すなわち、現時点で多くの齢級のデータを集め、各齢級ごとに平均したものを各齢級の代表値として、これらを結んで生長過程を導く方法に似ている。後者は、指林木法、または、永久標準地による方法の範疇に入る。

したがって、前者の結果から、有効な個樹の競争因子を見出し、

$$\text{個樹の生長量} = f(\text{個樹の競争因子}; \text{パラメータ}) \quad (1)$$

を導き、次に

$$(1) \text{ 式のパラメータ} = f(\text{時間, 林分の競争因子; パラメータ}) \quad (2)$$

を求め、(1)式と(2)式を結合して、生長モデルを組み立てる。また、後者の結果から、有効な個樹の競争因子を見出し

$$\text{個樹の生長量} = f(\text{時間, 個樹の競争因子}) \quad (3)$$

を求め、これを生長モデルに用いるのである。(3)式の中の個樹の生長量と時間の関係は、生長曲線式となるので、別の見方をすると、

$$\text{生長曲線からの偏差} = f(\text{個樹の競争因子}) \quad (4)$$

と見ることも出来る。(2)式は林分で一つの式となるが、(3)式は、既に見てきたように、生長の良い林分では、一つの式を用いることは難しいこと、および、競争因子の変化によって、それ以後の生長曲線が変化する場合に、どのように対応するのかなどの問題点を残している。

資料の取りかたとしては、(1)式に用いるものの方が、(3)式に用いるものよりも容易であるので、(1)式に用いる競争因子について検討した結果を述べる。前述のスギ(8)とトウヒ(9)およびトドマツ(10)について、直径生長量と競争因子との間の相関係数を調べた結果、共通的に言えることは、隣接木との間の距離情報は、競争因子としては必要でなく、生長量に最も強く関係する因子は、その樹木自身の大きさであるという極めて簡単な事実であった。そして、既発表の競争因子の中、有効と認められるものは、すべて、その樹木自身の大きさをも考慮しており、樹木自身の大きさ以外の因子の導入価値は疑わしいことがわかった。

このように考えてくると、間伐の効果はないのかという素朴な疑問が生じてくる。実際に多くの文献には間伐効果は認められている。これに対する解は、間伐の効果は(2)式の林分の競争因子であらわされるのであろうという事である。我々が、生長解析に用いる資料は、間伐林分、未間伐林分と言うように、林分内では取り扱いかたは一定である。したがって、一林分内の競争因子の変異は、未間伐林分と間伐林分の変異より小さく、林分内の変異程度では個樹の競争因子の効果は表れないと見るべきである。どうしても、間伐の効果(1)式で示したければ、一林分内を小樹木群にわけ、間伐樹木群と未間伐樹木群を設定すれば、その効果はあらわれるかも知れない。しかし、12回間伐が行われたトウヒについて、2時点における生長量の差と競争因子の差との関係を検討した結果、両者の間には殆ど関係が認められず、競争因子の変化の効果は、時間をおいてあらわれるとの仮定のもとに、タイムラグをおいて検討しても、新たな結果はえられなかった(9)。このことは、間伐の効果(1)式で競争因子では説明しえなかったことを意味しており、間伐と生長モデルの関係は、もっと詳細な検討を必要とするように思われる。

次に、生長モデルについて少し考察を加えてみよう。生長モデルには、非常に複雑なものから非常に簡単なものまで、すなわち、生物学的意味付けを多く用いたものから、殆どの部分をランダム変動で表したもので、種々のモデルが提案されている。また、別の見方では、モデルに組入れる因子を生物学的に選ぶ立場と、計測学的に、つまり、測定(1)の難易と測定誤差の大小を考慮して選ぶ立場の二

つがある。これらの中、どれが良いかは一概には言えないが、見掛け上は複雑で、生物学的意味付けが可能であっても、これを精度を落とさずに簡素化出来れば、生物学的意味付けが簡素化されても、その方が良いモデルであると思う。また、2つの因子が同じ程度に効くならば、すなわち、両者の間に1次関係があるならば、たとえ、生物学的意味付けが間接的になっても、測定し易い因子を用いるべきであろう。

ただ、単木の生長モデルの場合は、あくまでも、単木的な情報をうることが目的であるので、林分の平均的な情報をうることをのみを目的とする単木モデルは、林分モデルに肩代わりさせても良いであろう。

結論として、筆者が現段階で考えているモデルは、(1)式と(2)式を組み合わせたものである。そして、このモデル作製の基礎となるデータとしては、永久標準地の継続測定結果による以外に、西沢教授が、本年の林業統計研究会の懇親会で言われた永久標準地の必要性の重みをひしひしと感じるのである。

尚、資料を用いさせて頂いたProdan 教授、名古屋大学森林経理学教室、北海道林務部にお礼を申し上げます。

## 引用文献

- (1) 高田和彦：生長曲線式の適合度を論じる時に連年生長量を用いる場合と総生長量を用いる場合の比較 新大演報 18：107～110, 1985
- (2) 高田和彦：スギの伐採高における直径の理論的生長曲線式の適合度について 未発表
- (3) TAKATA K ; Application of autoregressive model to annual radial increment-diameter equations . Proceedings , IUFRO Symposium on forest management planning and managerial economics . 598～602, 1984
- (4) 高田和彦：スギの伐採高における直径についての連年生長量の予測精度について 未発表
- (5) 高田和彦, 小林正吾：スギの直径生長についての樹木間の関係 日林誌 66(5)：192～194, 1984
- (6) 高田和彦：西ドイツにおけるトウヒの直径生長についての樹木間の関係 新大演報 18：111～114, 1985
- (7) 高田和彦：西ドイツのトウヒ林分における胸高直径の大きさの順位の変化について 日林誌 62(8)：311～314, 1980
- (8) 高田和彦, 小林正吾：最終回の間伐以後のスギ林分における直径および断面積生長量と競争因子の関係 日林誌 65(4)：113～118, 1983
- (9) TAKATA K : On the relation of the diameter growth of a single tree to the arrangement of its neighbour trees in the Fichte stand of West Germany 新大演報 12：

1～17, 1979

- (10) 高田和彦, 小林正吾: トドマツ林分における胸高直径生長量と競争因子の関係 林統研誌 9:  
1～4, 1984