

森林生長モデルとコンピュータ・シミュレーション

統計数理研究所 石田正次

1. 森林生長モデルの立場

篠崎吉郎氏は Logistic 曲線のパラメータを時間の函数と考へて植物集団の生長モデルを作り、四手井氏らとともにこれを森林に適用して限界密度に関する興味ある結果を得た。一方、鈴木太七氏は生長を遷移確率で表現し、直径分布の型などの考察を行った。前者はまったく deterministic な立場から、後者はこれと反対の純粹な stochastic な立場からの記述である。そして両者で共通していることは、森林を構成するそれぞれの樹木が互いに独立に、またはすべて同じ相互関係をもつて生長するという macro model の形をとっていることである。macro model の面白さは単純な仮定と構造からどこまで現実の大局を記述できるかという点にあるが、測定や調査で知り得た生態的な知識を model の中に織り込むことが難かしく、さらに人為的な影響などによる局所的な変化を配慮する余地がまったくない。

もし森林の細部の構造についての法則性が定量化されているならば、それらを基にして micro-deterministic な model を作ることにより、いろいろな条件の元での森林の変化を追跡することができるはずである。しかし、現在の段階ではこれはほとんど不可能に近いことなので、われわれの場台は明確な因子については deterministic な立場をとり、不明なものや測定が困難なものについては確率的な表現を借りて micro-model を作りあげた。いわば、deterministic と stochastic の折衷で、ここでは micro-statistical-model とでも名づけよう。調査や実験で明らかになった部分は次々と deterministic な表現に置き換えていき、できるだけ micro-deterministic な姿に近づけていこうとするのが狙いである。

2 生長モデルにおける基本的な仮定

i) 対象林分内の土地条件は均一とする。

勿論かなり小さな面積でも土壌，地下水高に差異のあることは稀ではないが，現地の測定が難かしいのでこの仮定を設けた。

ii) 地形は平坦，もしくは南北方向のみに一定の傾斜をもつ。

微細地形が樹木の生長にかなりの影響をもたらすことはあるが，これに関しては局所的モデルで別途に考察することにして，通常は計算の便を優先させることにした。

iii) 気象は random factor と考える。

過去の林分内の気象データはほとんど皆無であり，将来の気象の予測もまた不可能である。しかし長期モデルでは気象の影響を無視することはできないので異常気象のみを取り上げて，これを被害の形で捕えることにした。つまり，ランダム周期をもって

特定樹種の枯損率を高める（早魃など）。

上層木，林縁木の折れ，枯死率を高める（台風など）。

IV) 樹高生長

樹高Hは

$$H_{t+1} = H_t + (H_0 - H_t) * P$$

で逐次計算する。ただしtは年， H_0 は限界樹高，Pは生長率で樹種，受光量，庇圧度の函数である。

V) 直径生長

現在のところうまい関係式がない。樹高，樹令から間接的に求めるか生長率一定として計算する。

VI) 被害

被害の発生は条件つき確率と考え，それぞれの場合に応じて次の値を与える。

P(0) 被害なし

P(1) 1年間生長休み

P(2) 2年間生長休み

P(3) 3年間生長休み

P (4) 以後の生長は止まる

P (5) 枯死

vii) 枯死および伐木

樹木は次の場合に取りのぞかれる。

- a) 被害 (P (5))
- b) 一定値以上の庇圧による枯死
- c) 施業 (択伐, 間伐など)
- d) 一定周期で一定樹種が枯死 (笹など)

viii) 稚樹の発生

母樹, 枯損木などを配慮した条件つきランダム。

3. 初期条件

i) 林分

最初は二次元の広がりをもつ林分で三次元のモデルを構成したが, 一回のシミュレーションに要する計算時間が大型機で 3 時間から 5 時間かかり, パラメータの値を変えて計算を繰り返すのが大変であったので, 最近では林分を直線とした二次元モデルを使って種々の検討を行い, 最終的な結論を得る場合にのみ広きをもつ林分で計算を行っている。初期条件に実際のデータを用いる場合は林内に幅 4 m から 8 m 程度の帯を作り, その中に含まれる樹木を計算機に入力する。庇圧度, 受光量, 本数密度などの換算は, パラメータによって行う。

ii) 樹木に関する常数

まず各樹種毎に

限界樹高 (最大高)	H ₀
最大生長量	P _{MAX}
最小生長量 (生長に関する耐陰性)	P _{MIN}
限界庇圧度 (枯死に関する耐陰性)		
偶然枯死確率		
結果するまでの樹令 (または樹高)		
結果の周期		

実の拡がる範囲

発芽本数

を定め、各立木については

位 置 (座標)

樹 種

樹 令

樹 高

が対応する。

iii) 森林の特性

どんな地域にある森林を対象にするか、またどんな施業を行うかによって予めその条件を入力する必要がある。地域特性としては被害の種類とその発生確率を定め、伐採、補植などの手が入るならばその方式を組み込んでおく。

4. 計 算

i) 方位および距離

受光量と庇圧量を求めるために、各立木についてその隣接木を探し、その方位と距離を計算する。方位は16方向とし、距離Dは

$$D = a \times \Delta X + b \quad \Delta Y$$

の略算式を用いる。a, bは各方位毎に一定な値である。

ii) 受 光 量

隣接木の陰が樹冠をおおう値の日平均である。二次元モデルの場合は、日光の入射角を一定(45°)として計算する。

iii) 庇 圧 度

樹冠の直径と長さの樹高に対する比率は樹種によって一定で、しかも樹冠の形は円筒とし隣接木との間の樹冠の重複度を求める。

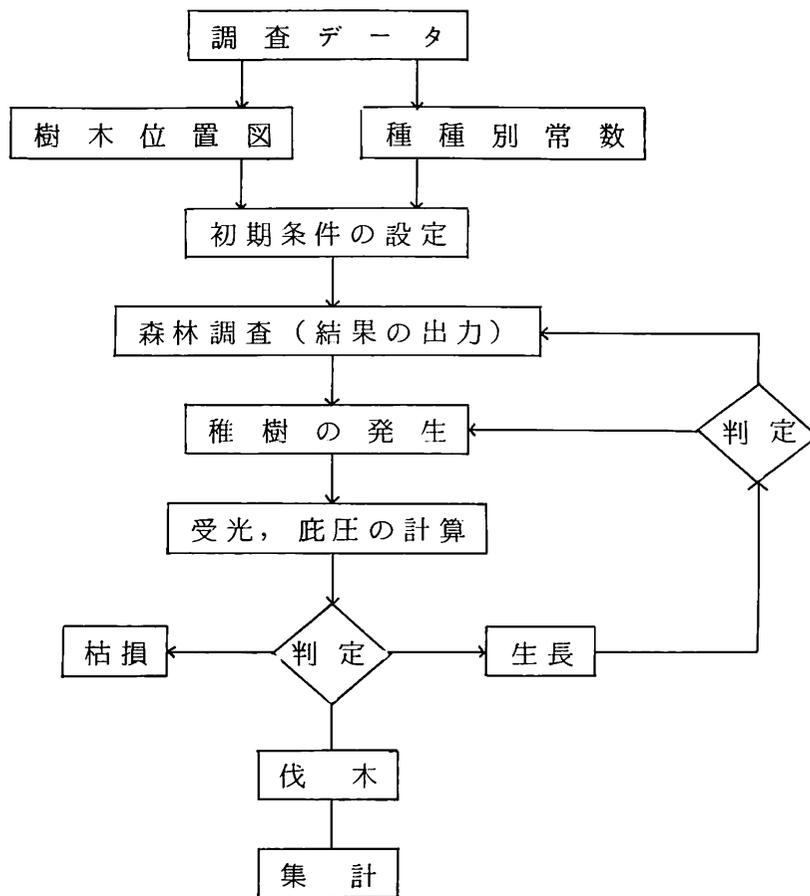
iv) 生 長 率

$$P = (P_{MAX} - P_{MIN}) \quad S + P_{MIN}$$

V) 枯死, 更新, 伐木

それぞれ始めに定めた規則による。

vi) モデルの流れ



PROGRAM- ISIDA
 ** UNI-DIMENSIONAL FOREST GROWTH MODEL (1975 / 2)

```

DIMENSION H(2500),HH(2500),IS(2500),IAGE(2500)
DIMENSION IF(10),GX(10),GN(10),NEW(10),HX(10)
DIMENSION HB(2),DB(2),HF(2),DF(2)
DO 1 I=1,2500
  IS(I)=0
  IAGE(I)=0
  H(I)=0.
1  HH(I)=0.
  CALL PLTCK
  CALL PLOTS(8HTREES ,0.)
  CALL FACTOR(0.45)
  CALL PLOT(0.,25.,-3)

```

INITIAL CARD (NUMBER OF NATIVE TREES , NUMBER OF SPECIES ,
 OUT-PUT INTERVAL AND TIMES)

```

  READ(5,100) N,NS,NI,NT
100 FORMAT(4I5)

```

SPECIES CARDS (TREE FORM , SAPLING , MAX-GROWTH , MIN-GROWTH , MAX HEIGHT)

```

  DO 2 I=1,NS
  READ(5,101) K,NEW(K),GX(K),GN(K),HX(K)
  2  IF(I)=K
101 FORMAT(2I5,3F5.0)

```

NATIVE TREE CARDS (POSITION , TREE FORM , HEIGHT , AGE)

```

  DO 3 I=1,N
  3  READ(5,113) J,IS(J),H(J),IAGE(J)
113 FORMAT(2I5,F5.0,I5)

```

```

  WRITE(6,102) NS
102 FORMAT(1H0,5X,'NUMBER OF SPECIES',I5)
  WRITE(6,103) NI
103 FOPMAT(1H ,5X,'OUT-PUT INTERVAL ( YEAR )',I5)
  WRITE(6,104) NT
104 EORMAT(1H ,5X,'OUT-PUT TIMES',I5)
  WRITE(6,105)
105 FORMAT(////1H ,8X,'FORM',' MAX-GROWTH MIN-GROWTH MAX-HEIGHT
  3',' SAPLING')
  DO 4 I=1,NS
  K=IF(I)
  4  WRITE(6,106) I,K,GX(K),GN(K),HX(K),NEW(K)
106 FORMAT(1H ,I4,I8,3F13.2,I10)

```

CALL SURVEY(H,IS,IAGE,IF,NS,YE)

CALL FOREST(IS,H,YE)

DO 10 NNT=1,NT

DO 11 NNI=1,NI

YE=YE+1.

DO 12 I=101,2400

IF(IS(I).EQ.0) GO TO 12

HI=H(I)

DO 13 J=1,2

HB(J)=0.

HF(J)=0.

DB(J)=2500.

13 DF(J)=2500.

IC=0

DO 14 J=1,100

L=I-J

```

        IF(H(L).LT.HI) GO TO 14
        IC=IC+1
        HB(IC)=H(L)
        DB(IC)=J
        IF(IC.GE.2) GO TO 20
14  CONTINUE
20  IC=0
        DO 15 J=1,100
        L=I+J
        IF(H(L).LT.HI) GO TO 15
        IC=IC+1
        HF(IC)=H(L)
        DF(IC)=J
        IF(IC.GE.2) GO TO 16
15  CONTINUE
16  HJ=2.5*HI
        IF(HB(1).LT.HJ.AND.DB(1).LT.HJ) GO TO 17
        IF(HF(1).LT.HJ.AND.DF(1).LT.HJ) GO TO 17
        DO 22 J=1,2
        DB(J)=HB(J)-0.1*DB(J)
        IF(DB(J).LT.0.) DB(J)=0.
22  IF(DB(J).GT.HI) DB(J)=HI
        DO 21 J=1,2
        DF(J)=HF(J)-0.1*DF(J)
        IF(DF(J).LT.0.) DF(J)=0.
21  IF(DF(J).GT.HI) DF(J)=HI
        SS=(DB(2)*0.1+(DB(1)+DF(2))*0.2+DF(1)*0.5)/HI
        L=IS(I)
        IAGE(I)=IAGE(I)+1
        IF(SS.GT.1.) GO TO 18
        P=GX(L)*(1.-SS)+GN(L)*SS
        HH(I)=HI+P*(1.-HI/HX(L))
        GO TO 12
18  HH(I)=HI+GN(L)
        GO TO 12
17  IS(I)=0
        IAGE(I)=0
        H(I)=0.
        HH(I)=0.
12  CONTINUE
        DO 30 I=101,2400
30  H(I)=HH(I)
        DO 40 I=101,2400
        IF(H(I).LE.10.) GO TO 40
        K=IS(I)
        M=H(I)*10.
        M1=I-M
        IF(M1.LE.0) M1=1
        M2=I+M
        IF(M2.GT.2500) M2=2500
        INT=(M+M)/NEW(K)
        IF(INT.EQ.0) INT=1
        DO 41 J=M1,M2,INT
        IF(IS(J).GT.0) GO TO 41
        H(J)=0.5
        IS(J)=K
        IAGE(J)=7
41  CONTINUE
40  CONTINUE
11  CONTINUE
        CALL SCHLAG(H,HH,IS,IAGE,NNT)
        CALL SURVEY(H,IS,IAGE,IF,NS,YE)

```

```

CALL FOREST(IS,H,YE)
10 CONTINUE

```

```

CALL FACTOR(0.7)
CALL PLOT(3.5,0.,-3)
X=0.
DO 24 I=1,NS
II=NS+1-I
K=IF(II)
FII=II
FK=K
FNEW=NEW(K)
X=X+0.6
CALL NUMBER(X,-1.1,0.25,FII,270.,0)
CALL NUMBER(X,-3.1,0.25,FK,270.,0)
CALL NUMBER(X,-5.6,0.25,GX(K),270.,2)
CALL NUMBER(X,-8.9,0.25,GN(K),270.,2)
CALL NUMBER(X,-12.4,0.25,HX(K),270.,1)
24 CALL NUMBER(X,-15.3,0.25,FNEW,270.,0)
X=X+0.8
CALL SYMBOL( X,-2.5,0.25,63HFORM      MAX-GROWTH      MIN-GROWTH
¥ MAX-HEIGHT      SAPLING,270.,63)
CALL PLOTE
CALL PLTCE
STOP
END

```

```

SUBROUTINE SCHLAG(H,HH,IS,IAGE,NNT)
b! ENDERSAUMSCHLAGS ( TANNE UND FICHTE )
DIMENSION H(2500),HH(2500),IS(2500),IAGE(2500)
KF1=2401-NNT*200
KF2=KF1+199
KT1=2201-NNT*200
KT2=KT1+199
DO 10 I=KF1,KF2
IF(H(I).LE.28.) GO TO 10
H(I)=0.
HH(I)=0.
IS(I)=0
IAGE(I)=0
10 CONTINUE
DO 20 I=KT1,KT2
IF(IS(I).EQ.3) GO TO 20
IF(H(I).LE.1.) GO TO 20
H(I)=0.
HH(I)=0.
IS(I)=0
IAGE(I)=0
20 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SURVEY(H,IS,IAGE,IF,NS,YE)
DIMENSION H(2500),IS(2500),IAGE(2500),IF(10)
DIMENSION NA(20),HM(20),NFH(11,21),FH(11,2)
DATA HM/3.,5.,7.,9.,11.,13.,15.,17.,19.,21.,23.,25.,27.,29.,31.,
#33.,35.,37.,39.,41./ , NA/10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110,120,
#130,140,150,160,170,180,190,200/
WRITE(6,100) YE
100 FORMAT(//1H0,F6.0,' YEARS'// 40X,'DISTRIBUTION OF TREE HIGHT ( M
ETER )'// ' FORM      2      4      6      8      10      12      14      16      18
¥ 20      22      24      26      28      30      32      34      36      38      40 TOTAL ME

```

```

¥AN      S.D.')
DO 1 IHA=1,2
DO 2 I=1,11
DO 3 J=1,21
3 NFH(I,J)=0
DO 4 J=1,2
4 FH(I,J)=0.
2 CONTINUE
DO 5 I=1,2500
IF(IS(I).EQ.0) GO TO 5
LS=IS(I)
DO 6 II=1,20
IF(IHA.GE.2) GO TO 7
HA=H(I)
HB=HM(II)
GO TO 8
7 HA=IAGE(I)
HB=NA(II)
8 IF(HA.LE.HB) GO TO 9
IF(II.EQ.20) II=20
6 CONTINUE
II=II
9 NFH(LS,II)=NFH(LS,II)+1
FH(LS,1)=FH(LS,1)+HA
FH(LS,2)=FH(LS,2)+HA*HA
5 CONTINUE
DO 10 I=1,NS
LS=IF(I)
DO 11 J=1,20
11 NFH(LS,21)=NFH(LS,21)+NFH(LS,J)
DO 12 J=1,2
12 FH(11,J)=FH(11,J)+FH(LS,J)
10 CONTINUE
DO 13 I=1,21
DO 13 J=1,NS
LS=IF(J)
13 NFH(11,1)=NFH(11,1)+NFH(LS,1)
IF(IHA.LE.1) GO TO 15
WRITE(6,103) (NA(I),I=1,20)
103 FORMAT(//1H ,40X,'DISTRIBUTION OF AGE'// ' FORM ',2015,' TOTAL
¥      MEAN      S.D.')
15 DO 14 K=1,NS
LS=IF(K)
T=NFH(LS,21)
AM=FN(LS,1)/T
SD=SQRT(FH(LS,2)/T-AM*AM)
WRITE(6,101) K,LS,(NFH(LS,L),L=1,21),AM,SD
101 FORMAT(1H ,12,14,2X,2015,17,2F8.2)
14 CONTINUE
T=NFH(11,21)
AM=FN(11,1)/T
SD=SQRT(FH(11,2)/T-AM*AM)
WRITE(6,102) (NFH(11,L),L=1,21),AM,SD
102 FORMAT(1F0,3X,'TOTAL',2015,17,2F8.2)
1 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FOREST(IS,H,YE)
DIMENSION IS(2500),H(2500),FX(10,10),FY(10,10)
DATA FX/-0.08,-0.9,-0.3,-1.,0.,0.9,0.3,1.,0.08,0.12,-0.08,-1.,

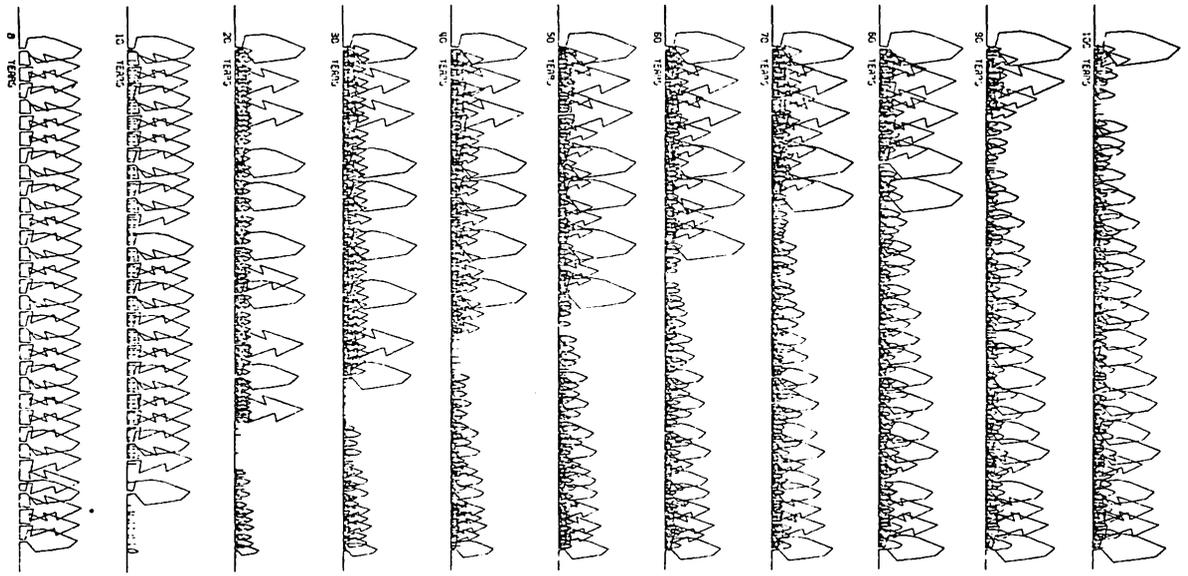
```

```

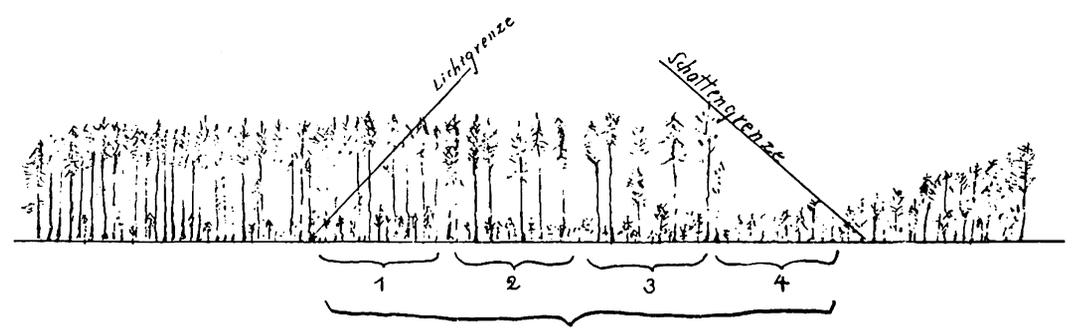
#-0.6,-0.9,0.,0.8,0.4,1.,0.08,0.12,-0.08,-0.9,-1.,-0.8,0.,0.6,0.8,1
#.,0.08,0.12,-0.08,-1.,-0.9,-0.5,0.,0.6,0.9,1.,0.08,0.12,-0.08,
#-0.9,-0.6,-1.,-0.3,0.5,0.8,0.9,0.08,0.12,-0.08,-0.6,-1.,-0.6,0.3,
#0.9,1.,0.6,0.08,0.12,-0.08,-0.9,-0.9,-0.7,0.,0.8,1.,0.9,0.08,0.12,
#-0.08,-0.7,-1.,-1.,-0.6,0.6,1.,1.,0.08,0.12,-0.08,-1.,-0.7,-0.9,
#-0.2,0.9,0.5,1.,0.08,0.12,-0.08,-1.,-1.1,-0.7,-0.3,0.8,1.1,1.1,
#0.08,0.12/
DATA FY/0.9,0.8,2.3,2.5,,3.,2.9,0.9,1.1,0.,0.8,1.4,2.6,3.,5.,3.6,
¥3.1,2.2,1.3,0.,0.5,0.7,2.,3.,5.,4.3,3.,1.4,0.6,0.,1.5,2.,3.,4.,5.,
¥3.6,2.3,1.8,1.3,0.,1.,1.8,3.,4.,5.,5.,3.9,1.8,0.8,0.,1.1,1.6,3.3,
¥4.9,5.,3.1,2.2,1.5,1.3,0.,1.3,3.3,4.2,5.,4.9,4.6,3.9,3.,1.8,0.,
¥1.4,1.6,2.,4.1,5.,5.,4.5,2.3,1.4,0.,2.6,3.4,4.,4.5,5.,4.4,3.9,2.9,
¥2.3,0.,1.6,2.6,3.9,4.9,4.6,5.,4.1,2.5,2.,0./
CALL NUMBER(4.5,-1.3,0.3,YE,270.,-1)
CALL SYMBOL(4.5,-2.5,0.3,5HYEARS,270.,5)
CALL PLCT(5.,0.,-3)
D=-1.
DO 400 I=1,2500
D=D-0.01
IF(I$ (I).EQ.0) GO TO 400
X=0.
FH=H(I)*0.02
LS=IS(I)
IF(H(I).LE.2.) GO TO 400
IF(H(I).LE.5.) GO TO 350
Y=D+0.12*FH
CALL PLOT(X,Y,2)
DO 330 K=1,10
X=FY(K,LS)*FH
Y=D-FX(K,LS)*FH
330 CALL PLOT(X,Y,2)
GO TO 400
350 FH=H(I)*0.1
CALL PLOT(X,D,2)
CALL PLOT(FH,D,2)
CALL PLCT(X,D,2)
400 CONTINUE
CALL PLCT(0.,-26.,2)
RETURN
END

```

FORM	MAX-GRÖßTE	MIN-GRÖßTE	MAX-HEIßTE	SAPPLING
1.	G. 90	G. 30	H. 0	15.
2.	G. 70	G. 25	H. 0	15.



AUFRISS DES BLENDERSAUMSCHLAGS



Unberührter Bestand

Verjüngungsstreifen