

# 琉球大学学術リポジトリ

## 中国湖南省におけるコウヨウザン人工林の成長特性に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-08 キーワード (Ja): コウヨウザン, 成長モデル, Richards関数, Weibull分布 キーワード (En): Cunninghamia Lanceolata, growth model, Richards function, Weibull distribution 作成者: 安里, 練雄, 呂, 勇, 林, 弘也, Asato, Isao, Lu, Yong, Hayashi, Hiroya メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3418">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3418</a>

## 中国湖南省におけるコウヨウザン人工林の成長特性に関する研究

安里練雄\*・呂 勇\*\*・林 弘也\*\*\*

Isao ASATO, Yong LU and Hiroya HAYASHI : Studies on the characteristics of growth of KOYOZAN (*Cunninghamia Lanceolata*) man-made forest in Funan China

キーワード：コウヨウザン、成長モデル、Richards関数、Weibull分布

Key Words : *Cunninghamia Lanceolata*, growth model, Richards function, Weibull distribution

### Summary

The present study clarified the characteristics of growth of KOYOZAN (*Cunninghamia Lanceolata*) man-made forest in Funan China. The results of the study are summarized as follows:

1. About some sample trees in forest stand of different growth condition, were estimated by Richards growth function that when annual and mean increment reach to maximum value.
2. Tree height curve model established by the site index, forest stand density and tree diameter at breast height.
3. Distribution of tree diameter at breast height and tree height in forest stand was able to represent properly by Weibull function.
4. It was established a growth model for the total basal area of forest stand.

### 緒 言

林木の成長と収穫は従来から森林計測学の重要な研究課題であり、ある樹種の木材としての性能を研究するためには、その樹種の成長特性と収穫経営などに関する研究も必要である。本論文は、中国南方

---

\* 琉球大学農学部生物生産学科

\*\* 中南林学院環境系

\*\*\* 琉球大学農学部生物資源科学科

琉球大学農学部学術報告 47 : 59~66 (2000)

の主要な早生樹種であるコウヨウザン (*Cunninghamia Lanceolata*) を対象として、湖南省攸県黄機橋林場を実験区に、人工林内の直径階を異にする林木の直径と樹高の成長、直径と樹高の関連性、林分の直径と樹高の分布構造、林分の総体成長等に関する調査研究を通して、成長予測モデルや経営関連数表及び経営方式を検討し、早生コウヨウザン林分の科学的経営に理論的根拠を提供しようとするものである。

なお、本研究は、平成9～11年度文部省科学研究費補助金(基盤研究、国09045073)により実施した調査研究の一部で、現地調査及び資料の分析取りまとめは呂勇が、日本語論文の編著は鹿児島連合大学院生の羅攀柱氏の協力を得て安里らが行ったもので、関係者各位とりわけ中南林学院の関係者には心からの謝意を表したい。

## 調査地の概況

黄機橋林場は羅霄山脈の中段、武功山の南西で、東経113° 04'～113° 42'、北緯27° 04'～27° 06'にある。海拔は115～1,270m、母岩は主に板頁岩から成り、次いで石灰岩、花崗岩、砂岩が一部にある。土壌は山地黄色土、赤色土、紫色土及び山地黄棕土などである。この林場は中亜熱帯季節風湿潤気候に属し、年平均気温は17.8℃、無霜期292日、年平均降雨量は1,411mmである。主要な経営樹種はコウヨウザンで、林場の土地総面積は10,158.7haであるが、森林面積7,720.8haのうち、コウヨウザンの造林面積は5,464.1haで、全体の70.77%を占めている。

## 資料と方法

### 1 資料の出所

1997年、中国湖南省の黄機橋林場のコウヨウザン人工林に、54箇所の標準地を設定実測し、31本を供資木として伐倒して解析に供した。

### 2 研究の方法

単木の成長解析を通して、コウヨウザン人工林の平均木の直径と樹高の成長に関する数学モデルを模索し、各成長特性に係るパラメタを計算し、それを利用して二要因の成長特性の分析を試みた。

Weibull分布関数を用いてコウヨウザン人工林における直径と樹高分布の構造特性を検討するとともに、林分全体の成長モデルを応用して胸高断面積合計の成長予想モデルを導き、林分としての成長過程を分析することによって林分収穫予測表編成の基礎を得ることとした。

## 結果と分析

### 1 同一林分における異なった径階木の成長過程の比較

任意に1プロットの標準地を選定し、その林分中の径階を異にする4本の供資木について成長の比較検討を試みた。

#### 1) 調査対象林分の概況

調査対象林分は黄機橋林場の広黄分場にあり、調査プロット面積は0.06haである。当該林分の海拔高は270m、南東向き5度の斜面で、土質母材は板頁岩、黄色土壌の土層厚は70cmである。造林年度は1965年で、毎木調査の結果は以下の通りである。

胸高直径階(cm)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	合計
本数(本)	2	6	14	14	29	12	9	6	5	1	98

林分平均胸高直径は $dg=18.5\text{cm}$ 、平均樹高 $hg=18.6\text{m}$ 、優勢木平均樹高 $ht=21.8\text{m}$ 、ha当たり立木密度は $N=1,633$ 本である。

## 2) 径階を異にする林木の成長比較分析

調査プロットの径階分布に従って、12、16、20、26の各径階から4本の標準木を選定し、樹幹解析を行った。結果は表1の通りである。これから明らかのように、同一林分内でもコウヨウザンの成長の違いは非常に顕著であり、20年を例にみても、直径で $7.5\text{cm}$ 、樹高で $4.3\text{m}$ 、材積で $0.1495\text{m}^3$ の差異がある。従って、立地条件の違いを考慮すれば、この成長の相違はコウヨウザンの早生等級を区分する根拠となる。

表1 コウヨウザン標準木の総成長量の比較

年 齢	胸高直径(cm)				樹 高 (m)				材 積( $\text{m}^3$ )			
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4
4	1.6	1.5	1.2	0.8	2.33	1.67	1.33	1.0	0.0004	0.0003	0.0001	6E-5
6	3.9	3.8	2.1	1.6	4.0	3.1	2.9	2.0	0.0032	0.0027	0.0009	5E-4
8	6.1	5.5	4.6	2.9	6.7	6.0	5.2	2.7	0.0096	0.0089	0.0056	0.0016
10	8.5	8.0	6.6	4.1	8.6	8.0	6.3	3.5	0.0259	0.0218	0.0113	0.0033
12	10.0	9.35	7.8	5.5	10.1	9.7	7.7	4.5	0.0426	0.0411	0.0203	0.0072
14	12.2	11.5	9.0	6.4	12.2	11.1	9.0	5.7	0.0707	0.0607	0.0333	0.0111
16	13.9	12.7	10.0	7.4	13.7	13.0	10.3	7.0	0.1094	0.0832	0.0457	0.0163
18	15.4	13.5	11.2	8.6	15.0	14.0	11.7	9.0	0.1444	0.1064	0.0606	0.0238
20	16.7	14.2	11.5	9.2	16.3	15.0	13.0	12.0	0.1846	0.1262	0.0739	0.0351
22	18.1	15.0	12.0	9.7	17.5	15.8	14.3	13.5	0.2309	0.1476	0.0869	0.0461
24	19.5	15.8	12.6	10.2	18.5	16.6	15.3	14.2	0.2864	0.1720	0.0998	0.0573
26	21.0	16.3	13.2	10.6	17.3	15.3	15.8	14.5	0.3380	0.1922	0.1159	0.0649
28	22.2	16.9	13.9	11.0	20.0	18.0	16.3	14.7	0.3933	0.2180	0.1272	0.0679
30	23.5	17.6	14.2	11.3	21.0	18.7	16.8	15.0	0.4532	0.2426	0.1373	0.0706
32	24.3	18.5	14.6	11.7	21.5	19.4	21.5	19.4	0.4907	0.2732	0.1464	0.0781

## 2 平均木の直径と樹高の成長

標準地毎にプロット平均木を選び、樹幹解析をし、平均木の直径と樹高の成長特性を分析した。樹木の成長に影響する主要因子は立地条件であるから、立地条件の等級を分けて研究する必要がある。普通は地位指数SIを指標として、コウヨウザンの林地の立地等級を上、中、下の3等級にする。ここでは、 $SI>20$ を上、 $12<SI<20$ を中、 $SI<12$ を下とした。

### 1) 平均木の直径と樹高の成長モデル

調査資料を立地条件により3等級に分類整理し、一般的によく利用されているRichards成長関数の適応を検討した。

$$Y=a[1-\exp(-kt)]^b \quad (1)$$

この式において、Yは直径又は樹高

tは年齢

a、b、kはパラメタで、

各パラメタの計算結果は表2の通りである。

表2 平均胸高直径と樹高の成長モデルのパラメタ

立地 等級	胸高直径			樹高		
	a	b	k	a	b	k
上	30.7868	3.1613	0.1167	27.7687	1.7312	0.0586
中	26.7092	2.9119	0.0997	24.0640	1.6414	0.0501
下	23.5418	1.7750	0.0701	21.8869	1.5589	0.0401

関数における三つのパラメタ a、b、k の生物学上の意味はよく知られている。コウヨウザンは異なる立地条件の下ではその成長過程も異なるものであり、黄機橋林場のコウヨウザン林分について成長過程を6モデル項目について計算してみた。その結果は表3に示す通りである。

表3 平均胸高直径と樹高の地位別成長過程

年 齢	胸高直径 (cm)			樹高 (m)		
	上	中	下	上	中	下
8	6.35	46.7	2.25	5.06	3.90	2.91
12	12.85	9.36	4.92	8.51	6.53	4.88
16	18.11	13.80	7.88	11.75	9.06	6.82
20	22.03	17.44	10.75	14.62	11.35	8.65
24	25.25	20.21	13.30	17.07	13.38	10.33
28	27.23	22.21	15.46	19.12	15.14	11.85
32	28.25	23.63	17.24	20.82	16.64	13.19
36	29.35	24.62	18.67	22.20	17.91	14.38

表3からも明らかなように、地位指数12以下の林地はコウヨウザンの成育には不適地で、コウヨウザンを育成するための造林地の地位指数は14以上が望ましい。同様に上、中の立地条件で、コウヨウザンの直径と樹高の総成長量が、表3の“中”に対応する数量指標に達するか又はこれを越えたら早生と判断することができる。これは異なった立地条件下でのコウヨウザンの早生育林技術の標準となるものである。

## 2) 平均木の直径と樹高の成長特性の分析

平均木の成長過程をさらに分析し、連年成長量、平均成長量、成長変曲点などの特性値を明らかにするため、Richards 成長関数(1)により、次の式を誘導した。<sup>(3, 5)</sup>

- ① 連年成長量が最大 (Richards 成長関数曲線の変曲点) となる時間T1:

$$T1=lnb/k$$

- ② T1に対応する総成長量Y(T1):

$$Y(T1)=a(1+1/b)^b$$

- ③ 連年成長量の最大値Zmax:

$$Zmax=ak(1+1/b)^{(1+b)}$$

- ④ 変曲点における成長率P(T1):

$$P(T1)=k/(1+1/b)$$

⑤平均成長量の最大値 $Q_{max}$ と対応する時間 $T_2$ :

$$Q(t)=Z(t) \text{ であるから}$$

$$tkb[(a/Y)^{1/b}-1]=1 \quad T_2, Q_{max} \text{ を導くことができる。}$$

以上5式の計算結果は表4の通りである。

表4から明らかなように、直径と樹高の連年成長量と平均成長量が最大に達する時間は、立地等級が低いほど遅く、その最大値も立地等級が低いほど低くなる。

表4 平均胸高直径と樹高の地位別成長特性

特性値	胸高直径(cm)			樹高(m)		
	上	中	下	上	中	下
T1	9.86	10.72	14.56	9.30	9.90	11.10
Y(T1)	9.25	7.85	6.81	6.24	5.15	4.42
Zmax	1.5794	1.1913	0.7465	0.8665	0.6229	0.4947
P(T1)	17.07%	15.18%	10.95%	13.87%	12.82%	11.18%
T2	17.1	18.7	25.5	17.3	18.4	20.8
Qmax	1.1344	0.8746	0.5520	0.7356	0.5689	0.4335

### 3 直径と樹高成長の関連性

林木の各測定因子間には緊密な関連性があり、これらの関連性を研究することは林分構造と成長に関する特性解明の基礎となる。森林経営の中で最も重要なことは、林木の直径と樹高の関連性である。通常、直径と樹高の関係曲線は樹高曲線と呼ばれている。コウヨウザンの樹高曲線の数学的モデルは、次式によって表すことができる。<sup>(1)</sup>

$$H = aD^{2/3} \quad (2)$$

191本の実測資料によって、上記(2)式のパラメタ a に関して計算した結果は、次の通りである。

- ① パラメタaの変動範囲 1.1~3.2
- ② パラメタaの平均値 2.0138
- ③ パラメタaの格差 2.1
- ④ パラメタaの変動係数 18.68%

従って、たとえ直径が同じコウヨウザンであっても、立地条件と経営方式の違いによって、樹高の差は大きい。そのため、直径と樹高の生長関連性を研究する際には、樹高等級を区分するか、あるいはパラメタaに関連する総合的な数学モデルを検討することが必要である。

#### 1) 樹高等級区分

上記(2)式のパラメタの変動特性にしたがい、最尤分割法 (Fisher法) で黄機橋林場のコウヨウザンの樹高を5等級に区分すると、表5の通りとなる。

#### 2) 樹高曲線の総合モデル

パラメタaを林分の地位指数SI、本数密度Nとの関連の基に回帰を計算すると、

$$a = 3.9542N^{-0.1086}SI^{0.0408}$$

となる。即ち、黄機橋林場のコウヨウザンの樹高曲線総合モデルは次のように表すことができる。

$$H = 3.9542N^{-0.1086} SI^{0.0408} D^{2/3} \quad (3)$$

ここで、Hは樹高  
Dは直径  
Nは本数密度  
SIは地位指数

表5 コウヨウザンの樹高級区分

樹高級	パラメタ a の平均値	樹高曲線モデル
I	1.3790	$H=1.3790D^{2/3}$
II	1.8929	$H=1.8929D^{2/3}$
III	2.2301	$H=2.2301D^{2/3}$
IV	2.5320	$H=2.5320D^{2/3}$
V	2.9759	$H=2.9759D^{2/3}$

#### 4 人工林の直径と樹高の構造特性

森林の管理経営に際しては、林分の全体的特徴だけでなく、林分内の各直径階の分布状況、即ち構造特性を把握しなければならない。このことが、経営管理の効価分析の根拠を与えることにもなる。ここでは、Weibull 分布関数を用いて、黄機橋林場のコウヨウザンの直径及び樹高分布の構造特性を検討した。

##### 1) 人工林の直径分布モデル

直径分布の構成は林分構造の最も基本的なものであり、これに関する研究も多い。多くの研究において、同齢単純林の直径分布を Weibull 分布関数で表すことの適切性が示されている。<sup>(2,3)</sup>

##### ① Weibull 分布密度関数 $f(x)$ :

$$f(x)=c/b[(x-a)/b]^{c-1}\exp\{-[(x-a)/b]^c\} \quad (4)$$

この式について、積分して Weibull 分布関数  $F(x)$  を得る。

$$F(x)=1-\exp[-(x/b)^c]$$

今、ある林分の直径分布の密度関数  $f(x)$  がわかれば、各径階の理論的な本数  $N_i$  は、

$$N_i=NWf(d_i) \quad (5)$$

この式において、 $N$ は林分総本数、 $W$ は径階幅、 $d_i$ は第*i*径階の中央値である。

##### ② Weibull 分布密度関数のパラメタの計算

林分の直径分布が明らかな標準地について、Weibull 分布関数のパラメタを算出するのに最大似然推計法と近似推計法の二つの方法があるが、ここでは、改善された西沢正久の方法を利用して、54プロットのパラメタ  $a$ 、 $b$ 、 $c$  を計算した。

##### ③ Weibull 分布密度関数のパラメタ予想モデル

黄機橋林場における面積0.06haの54プロットの標準地資料を用いて、各プロットのパラメタ  $a$ 、 $b$ 、 $c$  と、林分平均直径  $D_g$ 、平均樹高  $H_g$ 、本数密度  $N$ 、地位指数  $SI$  などとの関係を分析することにより、回帰関数を誘導した。

$$a=0.0854D_g^{1.6033} \quad (6)$$

$$b=21.4406D_g^{0.1973}H_g^{0.1568}N^{-0.0619}SI^{-0.5065} \quad (7)$$

$$c=4.2960D_g^{-0.1070}H_g^{0.1092}N^{-0.1051}SI^{0.0744} \quad (8)$$

(4)、(5)、(6)、(7)、(8)式によって構成される式が、黄機橋林場のコウヨウザン人工林の直径分布モデルである。

## 2) 人工林の樹高分布

理論上、直径と樹高の関係が  $H=mD^n$  であり、直径分布に Weibull 分布が当てはまると、樹高も Weibull 分布が当てはまる。<sup>(3)</sup>即ち、もし  $D$  が Weibull 分布とすれば、直径分布の密度関数  $f(D)$  は、

$$f(D)=c/b(D/b)^{c-1}\exp[-(D/b)^c]$$

ここで、 $F_H(Y)=P(H<Y)$

$$\begin{aligned} &=P(mD^n<Y) \\ &=P[D<(Y/m)^{1/n}] \quad (m>0, n>0) \end{aligned}$$

で、 $J=mb^n$ ,  $R=c/n$  とすれば、

$$F_H(Y)=1-\exp[-(Y/J)^R] \quad (9)$$

即ち、 $Y$  は Weibull 分布で、樹高も Weibull 分布が当てはまる。

## ① 人工林の直径と樹高の相関モデル

$$\begin{aligned} H &= 3.9542N^{-0.1086}SI^{0.0408}D^{2/3} \\ m &= 3.9542N^{-0.1086}SI^{0.0408} \\ n &= 2/3 \end{aligned}$$

② 人工林の直径分布モデルのパラメタ  $b$ 、 $c$ 

$$\begin{aligned} b &= 21.4406Dg^{0.1973}Hg^{0.1566}N^{-0.0619}SI^{-0.5065} \\ c &= 4.2960Dg^{-0.1070}Hg^{0.1092}N^{-0.1051}SI^{0.0744} \end{aligned}$$

## ③ 人工林の樹高分布モデルのパラメタ

$$\begin{aligned} J &= mb^n \\ &= 30.5173Dg^{0.1315}Hg^{0.1044}N^{-0.1498}SI^{-0.2968} \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= c/n \\ &= 6.4440Dg^{-0.1070}Hg^{0.1092}N^{-0.1051}SI^{0.0744} \quad (11) \end{aligned}$$

これら(9)、(10)、(11)式による構成式が黄機橋林場のコウヨウザン人工林における樹高の分布モデルである。

## 5 人工林の林分の総体成長モデル

林分の成長に影響する因子は多いが、総体的には林分の生育段階、林地生産力及び林木の林地利用度等の三つの総合因子が考えられる。そのため、林分の成長量あるいは収穫量は次の式で表わすことができる。

$$Y=f(SI,A,N)$$

ここで、 $Y$  は林分成長量或いは収穫量、 $SI$  は地位指数、 $A$  は林齢、 $N$  は密度の指標である。

従前から林分の成長に関する研究は多いが、単独の因子との関係分析に限られることが多かった。この方法で諸数表を作成することは容易であるが、相互に矛盾が多い。唐守正らは単独因子の基礎の上に、林分全体としての成長モデルを作成しているが、<sup>(6)</sup>このモデルで誘導された測樹上の諸数表は相互に合致している。本研究においては、林分全体の総体成長モデルとして、コウヨウザン人工林の基本モデルとしての胸高断面積の成長モデルを検討した。

## 1) 人工林の密度指数モデル

Reineke が提案した林分密度指数モデルは、

$$N_0=N(D/D_0)^b$$

ここで、 $N_0$  は密度指数、 $N$  は実際本数、 $D$  は平均直径、 $D_0$  は定義した標準直径である。各標準地の原点からの距離によって大小15プロットを選び、次式の係数を計算した。

$$N=aD^b$$

結果は、 $N=25384D^{-1.7959}$ であり、



従って、黄機橋林場のコウヨウザン人工林の密度指数モデルは、次のように表わすことができる。

$$N_D = N(D/D_0)^{1.7959}$$

ここで、 $D_0=20\text{cm}$ である。

## 2) 人工林の総体成長モデル

李際平らによると、<sup>(4)</sup>林分胸高断面積は

$$G = b_1 SI^{b_2} \{1 - \exp[-b_3 N^{b_4} t]\}^{b_5} \quad (12)$$

と表すことができる。

ここで、 $G$ は $ha$ 当たり胸高断面積、 $SI$ は地位指数、 $N$ は $1/1000$ の密度指数、 $t$ は林齢、 $b_1 \sim b_5$ はパラメタである。

54プロットの資料を用いて、(12)式を計算したところ、

$b_1=18.2635$ 、 $b_2=0.2784$ 、 $b_3=0.1918$   $b_4=0.002561$ 、 $b_5=4.5183$ であった。

(12)式を基礎として、これらの各パラメタを代入することによって、林分収穫量に関連するモデルを計算することができ、収穫予想表を編成することができる。

## 摘 要

立地条件の違いは、コウヨウザン人工林の成長過程の差を大きくし、同一林分内での単木の成長速度にも影響する。表2、表3からも明らかなように、黄機橋林場においては地位指数14以上の林地を選んでコウヨウザンが植栽されており、立地条件が上～中の林地でのコウヨウザンの早生育林技術の指標を提示することができた。

コウヨウザン人工林内の平均木の直径と樹高の成長特性パラメタは、それらの連年成長量と平均成長量の最大値、及び最大値に達する時間が立地等級によって変ることを反映している。

コウヨウザンの直径と樹高成長に関連を及ぼす主要因子は、潜在的な林地生産力、林木の林地利用度であり、このことを基に、黄機橋林場におけるコウヨウザンの樹高曲線モデルとして(3)式を誘導した。

Weibull分布関数を用いることにより、コウヨウザン人工林の直径と樹高の分布構造特性を適切に表すことができる。同時に、林分平均直径、平均樹高、林分密度、地位指数の4因子でそのパラメタを推定することができ、コウヨウザン人工林の構造動態を予測することが可能となった。

黄機橋林場のコウヨウザン人工林の経営収穫表作成の基礎モデルとして(12)式を誘導した。

## 引用文献

1. 呂 勇 1997 林木樹高曲線模型研究 中南林学院学報4 86～89
2. 呂 勇 1991 会同杉木人工林的樹高分布模型 中南林学院学報1
3. 孟 憲宇 1996 測樹学 98～293 北京 中国林業出版社
4. 李 際平・呂 勇 1997 会同杉木人工林整体生長模型 林業科学 (sp):133～138
5. 成 子純 1991 馬尾松経営体系模擬系統 48～114 北京 中国林業出版社
6. 唐 守正 1994 黄西大青山馬尾松全林整体生長模型及其応用 林業科学 (sp):8～13