

林相變更之柳杉造林地的林分構造與收穫^{*}

Studies Structure and Yield of Stand-Converted Cryptomeria Plantation in Taiwan

羅紹麟、馮豐隆

【摘要】

以林相變更柳杉造林地之樣區資料去建立直徑分佈(size class distribution)和收穫預測(yield prediction)模式。用 Weibull 機率密度函數模擬直徑分佈，並由其累積機率函數算出各直徑階的材積分佈。本文中所採樣區分佈於全省，其有關資料可供全省 20 年以下之柳杉林生長收穫推測之用。

【Abstract】

A diameter distribution yield model was developed and based upon measurements of 328 temporary plots located in stand-converted cryptomeria plantation in Taiwan. Diameter distribution were derived using the Weibull probability density function and using its cumulative distribution function to build the volume distribution table of each class.

In the study, we present the tests of goodness for fit in Weibull function to diameter distribution; the method of building volume distribution table and the yield prediction of cryptomeria under 20 stand ages.

一、前言

為整理低劣的天然林，以促進林木生長，充分發揮林地生產力，供應木材原料需求為目的，台灣省林務局自民國 54 年起開始實施林相變更計畫，先後完成第一期(民國 54 年 1 月～55 年 6 月)、第一期(55 年 7 月～57 年 6 月)、57 年次(57 年 1 月～59 年 6 月)、第三期(59 年 1 月～66 年 12 月)林相變更。其完成之面積合計為 38,667.81 公頃，然在造林後經過一二十年來之天然災害如火災崩塌等影響，目前尚存 36,751.163 公頃，其中柳杉(*Cryptomeria japonica*)造林面積為 7,664.406 公頃(僅次於台灣二葉松 7,789.381 公頃)，為瞭解近一二十年來林地生長情形，林務局曾在民國 71 年至 73 年間實施林地生長調查，共調查全省 23 個事業區，1247 個樣區，今為瞭解柳杉林分結構與收穫，以 Weibull 機率密度函數加以分析探討。

本計畫承蒙林務局經費資助，電腦室同仁們不辭辛勞的提供資料及程式設計以及研究助理張韻卿小姐之耐心整理資料，於此謹致最大之謝意！

二、目的

1. 以 Weibull 機率密度函數，分析柳杉各直徑階，樹高階分佈情形。

^{*} 發表於興大實驗林研究報告第 6 號

2.以林分分佈法分析台灣省林相變更地柳杉生長及各直徑階材積分佈。

三、資料收集

(一)造林台帳資料

經整理林相變更柳杉造林地之面積分佈如下表：

表一 林相變更柳杉造林地之面積分佈表

單位：公頃

事業區 \ 林齡	5~10年	11~15年	16~20年	合計
02 烏來	393.0133			393.0133
04 竹東	510.9015	1,106.3632	124.1550	1,741.4197
06 大湖	163.1200			163.1200
08 八仙山	99.9100			99.9100
10 濁水溪		2.4800	38.1100	40.5900
13 巒大	13.7233	182.7300		196.4533
14 阿里山	361.2600	831.0633		1,192.3233
19 荖濃溪	85.3700			85.3700
23 大武		106.6550		106.6550
28 玉里	367.1250	853.9310		1,221.0560
29 秀姑巒	551.7750			551.7750
30 林田山	287.8860	24.3925		312.2791
33 和平	210.9000	465.6300		676.5300
35 太平山	272.5433	395.3500		667.8933
37 宜蘭	194.4200			194.4200
合計	3,533.5464	3,968.5950	162.2650	7,664.4064

(二)樣區調查

1.調查時間與地點

調查時間	調查地點（事業區）
民國 71 年 9 月~12 月	恆春、潮州、屏東、烏來。
民國 72 年 1 月~12 月	竹東、大湖、大安溪、八仙山、大甲溪、濁水溪、巒大、阿里山、玉井、旗山、玉山、荖濃溪。
民國 73 年 1 月~5 月	玉里、秀姑巒、林田山、和平、太平山、宜蘭、大武。

2.樣區資料

(1)在林相變更造林地內，逢機啟始之系統取樣，約 25 公頃取一樣區，共取臨時圓形樣區 328 個，每 3 個直徑樣區取一樣區測其樹高為樹高樣區共 118 個，並酌取中央木做樹幹

解析共 61 株。

(2)樣區和樣本之分佈如表二。

(3)樣區之共同特點是：

- A.林相變更地。
- B.林齡由 7~20 年生之柳杉造林地。
- C.未經疏伐、修枝、施肥。
- D.無明顯病蟲害發生。
- E.無補植。

(4)樣區之胸高直徑、樹高、年齡、斷面積等林分屬性分佈如表三。

(5)樹幹解析木之樹高和胸徑階分佈如表四。

表二 樣區及樣本之分佈表

林管處 名稱	事業區 代號名稱	直徑樣區	樹高樣區	樹幹解析
文山處	02 烏 來	26	14	5
竹東處	04 竹 東	76	37	22
	06 大 湖	7	2	2
	08 八 仙 山	2	1	1
埔里處	10 濁水溪	2	0	0
巒大處	13 巒 大	6	3	2
玉山處	14 阿 里 山	54	18	11
楠濃處	19 荖 濃 溪	6	1	1
關山處	23 大 武	7	2	1
玉里處	28 玉 里	33	17	6
	29 秀 姑 巒	26	12	2
木瓜處	30 林 田 山	10	3	2
蘭陽處	33 和 平	24	1	1
	35 太 平 山	45	7	4
	37 宜 蘭	4	0	0
總	計	328	118	61

表三 樣區之林分屬性分佈表

事業區		年齡(yrs)			胸高直徑(cm)			樹高(m)		
名	稱	A _{max}	A _{mean}	A _{min}	D _{max}	D _{mean}	D _{min}	H _{max}	H _{mean}	H _{min}
02	烏來	9	8	7	18.2	7.2	1.0	10.3	5.8	1.9
04	竹東	18	12	7	40.6	13.0	2.3	21.5	9.3	2.1
06	大湖	10	9	8	18.8	9.5	1.9	13.2	7.1	3.0
07	大安溪	17	17	17	16.0	9.4	4.1	10.1	7.0	3.9
08	八仙山	10	10	10	20.3	10.8	4.5	12.0	7.7	4.2
10	濁水溪	15	15	15	24.0	12.0	5.2	13.5	8.3	4.6
13	巒大	12	11	10	28.0	14.0	4.9	13.8	9.0	4.1
14	阿里山	21	12	9	30.0	11.6	0.9	15.6	8.2	2.0
19	荖濃溪	10	10	9	17.4	9.0	4.2	7.6	6.8	4.0
23	大武	13	13	12	16.1	11.6	6.5	11.0	8.1	5.4
28	玉里	13	12	10	51.3	14.7	4.4	19.6	9.9	2.5
29	秀姑巒	13	9	8	43.3	13.9	2.5	19.3	8.5	3.0
30	林田山	13	10	9	33.3	8.3	4.0	14.0	6.8	1.5
33	和平	14	10	8	26.9	14.0	4.8	12.5	9.5	3.5
35	太平山	15	12	9	32.5	11.9	0.8	14.2	8.4	1.1
37	宜蘭	8	8	8	15.2	9.7	4.6	9.7	7.1	4.3

表四 樹幹解析木之樹高、直徑階株數分佈表

胸高直徑 (cm)	樹 高(m)											總計	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
4 - 5.9	1	2		1									4
6 - 7.9			4	3									7
8 - 9.9			4	2	1	1	1						9
10 - 11.9					4	4			1				9
12 - 13.9				1	1	1	1	3		1			8
14 - 15.9					1	1	5	3	2	1			13
16 - 17.9							1	1	2				4
18 - 20.							2	2	1	1	1		7
總計	1	2	8	7	7	7	10	9	6	3	1		61

四、發展模式

(一)原理

林分的蓄積與生長是經營木材生產的核心，亦是經營計畫擬定的主要資料依據。而林分的蓄積與生長可由單株和林分來推導(木梨謙吉等，1976；Burkhart et al., 1981；Cutter et al.,

1983)。美國南方森林學家大部直徑分佈法來探討人工林林木之生長與收穫，如 Clutter and Bennett (1965), Bennet and Clutter (1968), Smalley and Bailey (1974), Feduceia et al. (1979), Dell et al. (1979), Bailey et al. (1982), Bailey et al. (1985), Amateis et al. (1984)。本研究亦係以林分的直徑分佈法(diameter distribution method)計算推演林分之材積。

1. 林分構造

林分構造是指林地、樹種、樹木各種屬性大小分佈：樹種生長習性、環境條件和經營實施的綜合結果(Husch, Miller and Beer, 1972)。一般單一樹種、同齡林的林分構造，可由樹木各種特徵(屬性)如胸高直徑、斷面積、樹高、材積大小的分佈加以說明。所以說直徑分佈是林分構造中的一種表示法，乃因為胸高直徑的資料最容易獲得，故常被使用。

2. 直徑分佈法

直徑分佈法係利用每公頃各直徑階的株數、分佈頻度、平均樹高和適當的單株材積式，來推估每公頃的材積收穫的方法，而直徑分佈與其地位、林分組成、構造、林齡和密度的關係對森林經營的經濟性和生物性，皆能提供相當有價值的資訊(Bailey and Bennet, 1965)。直徑分佈法的功效包括有(Clutter and Bennet, 1965)：

- (1) 預測(forecast)任何年齡、地位和密度造林地，每公頃之紙漿材或製材木的收穫量。
- (2) 估測現有造林地能提供之總木材量。
- (3) 決定多目標生產之最佳組合(multiple-product combination)。
- (4) 計算不同年齡與地位和林分密度收穫成本。

直徑分佈(收穫系統)之應用，一般係以連續機率密度函數(continuous probability distribution)來表示如常態分佈(normal distribution)(Chapman and Mayer, 1949)、 β 分佈(beta distribution)(Loetsch and Eöhrer, 1973)、 γ 分佈(Gamma distribution)(Nelson, 1964)、對數常態分佈(lognormal distribution, logarithmate-normal)(Bliss and Reinker, 1964)、指數分佈(exponential distribution-shape)(Leak, 1965; Mcurphy et al., 1982)以及 1973 年 Bailey 和 Dell 所引用之 Weibull 分佈，然一般的機率密度函數的參數並不代表什麼意義，就是有，其累積機率函數(cumulative distribution function)亦不易求得。如常態分佈機率密度式以如下表示：

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < \infty$$

上式中參數 μ 和 σ 分別代表分佈的平均值和標準偏差(standard deviation)，但其累積機率函數，則不容易解得，故某一區間(直徑階)的機率便無法算出。但是參數代表的意義和累積機率函數的計算在 Weibull 分佈則可容易獲得解答(Clutter et al., 1983; Chen, Rose, 1978)。另外，用 Weibull 分佈函數去配置同齡林或無齡林的直徑分佈效果一般均佳，或可

說是機率分佈易於模擬(Bailey and Dell, 1973; Chen, Rose, 1975; Chen, Rose, 1978; 楊榮啟等, 1978; Clutter et al., 1983)。基於以上觀點，本實驗分析及嘗試以 Weibull 分佈來配置柳杉之直徑分佈。

3. Weibull 機率密度函數

Weibull 函數式：

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \dots\dots\dots(1)$$

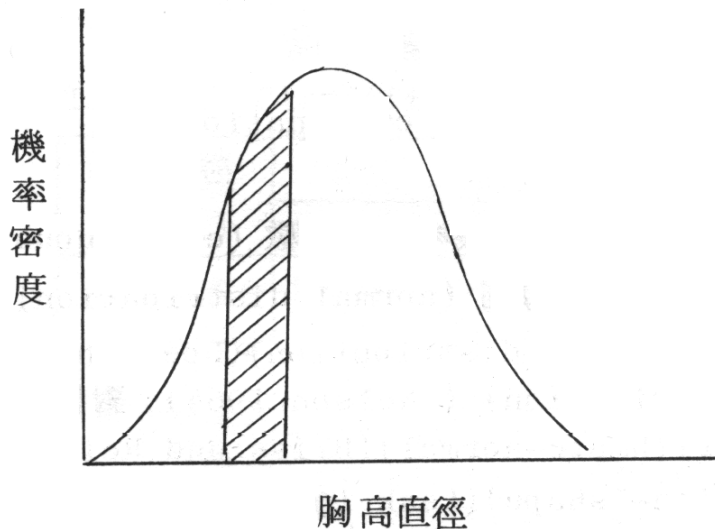
$$\begin{aligned} \infty > x &\geq a \\ b &> 0 \\ c &> 0 \end{aligned}$$

今在 Weibull 分佈內求某一區段之累積機率函數值，亦可由下式求出(請參對下列簡圖斜線部分)。

前式中之三個參數 a、b、c 分別表示位置(location)、大小(scale)、形狀(shape)，若配置在直徑分佈上時，三個參數皆為正，且其累積機率函數可由下列簡單式求得，即：

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \dots\dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} \infty > x &\geq a > 0 \\ b &> 0 \\ c &> 0 \end{aligned}$$



圖一 區段之累積密度函數圖

$$P(L < x < U) = \exp\left[-\left(\frac{L-a}{b}\right)^c\right] - \exp\left[-\left(\frac{U-a}{b}\right)^c\right] \dots\dots\dots(3)$$

此式在 Weibull 直徑分佈模式中，可表示各直徑階的頻率(diameter class frequency)。

首先應用此一區段之累積機率函數值，以求得短葉松造林地各直徑階之頻率(Smalley and Bailey, 1974)。

4. Weibull 機率密度函數之參數求法(Searching for parameters of Weibull probability density function)

Bailey 和 Dell 於 1973 年謂 Weibull 機率密度函數之參數 a 可解釋為最小之可能直徑，而一般在調查樣區內胸高直徑時常把較小未達一定大小之幼樹棄卻，故未經疏伐、撫育之造林地其幼小林木直徑應等於零。即用 Weibull 函數來敘述未經疏伐之林分時，參數 a 便可視為 0。然後利用最大概度法(maximum likelihood method)求解 b、c 二個參數即可(註：但若應用於下層疏伐和老林分時，應先考慮 a 值，否則觀測值與估算之理論值之間無差異的擬說，所做的適合度測驗之 x^2 值勢將增加，因為老林分中隨時間拉長，將使小徑階的林木枯死或增大胸徑(Chen, Rose, 1975)。

陳仲木氏(1975)利用 Newton-Raphson 反覆運算(iteration)求得估測值之初值，再由此算出 b、c 值，並設有程式，本實驗乃利用此程式來求 Weibull 函數 b、c 二參數。

5. 直徑分佈之適合度測驗

Bliss 和 Reinker (1964)曾用 x^2 (Chi-square)測驗，去測試直徑分佈的適合性，但 Bailey 和 Dell (1973)則建議用 K-S (Kolmogorov-Smirnov test)去測驗可獲直徑分佈之適合性。

乃因 x^2 測驗需有常態分佈作為前提，而 K-S 測驗則不需要，此外連續變數資料(Continuous variable)用 K-S 測驗所獲得之結果較為合適(Sokal, Rohlf, 1981)，故 Bailey (1974) 和 Chen, Rose (1975) 等用 K-S test 去測試均獲滿意結果。本實驗則分別以 x^2 測驗和 K-S 測驗進行測試。

(二) 步驟

1. 理論分佈之適合度測驗

(1) 將同一事業區同一齡階或林齡之樣區予以歸併。

(2) 將各已歸併資料樣區內樹木植株以 Weibull 機率密度函數 $f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right]$ 來描述直徑階或樹高階分佈情形。

A. 以樣區內各樣株之胸高直徑(或樹高)，依 Chen, Rose (1975)之程式求解 b、c 二參數。

B. 將 b、c 值代入 Weibull 累積機率函數：

$$P(L < x < U) = \exp\left[-\left(\frac{L}{b}\right)^c\right] - \exp\left[-\left(\frac{U}{b}\right)^c\right]$$

X：欲求之直徑階(或樹高階)

L：次低之直徑階(或樹高階)

U：次高之直徑階(或樹高階)

算出欲求直徑階或樹高階之頻度。

(3)將總觀測量乘以各階頻度得到各階理論值。

(4)將理論值和觀測值進行 χ^2 (Chi-square)和 K-S (Kolmogrov-Smirnov)適合度測驗。

2.各直徑階材積分佈表

(1)將經適合度測驗結果在吾人認可的顯著水準($\alpha=0.05$)下，認為理論值與觀測值兩分佈之間無差異，即理論分佈可代替觀測值分佈。

(2)利用以下材積模式求出該樹種之最佳材積式：

$$A. V_i = b_0 + b_1 D_i^2 H_i$$

$$B. V_i = b_0 + b_1 D_i^2 + b_2 H_i + b_3 D_i^2 H_i$$

$$C. V_i = e^{b_1} D_i^{b_2} H_i^{b_3}$$

$$D. V_i = b_0 + b_1 D_i^{b_2} H_i^{b_3} \quad (\text{Clutter et al., 1983})$$

V_i = 材積

D_i = 胸高直徑

H_i = 樹高

e = 自然對數

b_0, b_1, b_2, b_3 為係數

用 Huber 式求出材積(V_i)，配合各胸高直徑(D_i)和樹高(H_i)，再以各材積模式去配置，選取 R 值最大、SE 最小之材積式為最佳材積式。

(3)由樹高樣區之資料，算出最佳之樹高曲線，其可能之模式有：

$$A. H_i = 1.3 + a D_i + b D_i^2$$

$$B. H_i = a + b \log D_i$$

$$C. H_i = e^{a+b \log D_i}$$

$$D. H_i = 1.3 + h (1 - e^{-a D_i}) \quad (\text{Hutch et al., 1973})$$

H_i = 樹高

D_i = 胸高直徑

e = 自然對數

\log = 以十為底之對數

a, b 為係數

以樹高、胸徑(H_i, D_i)代入以上之樹高曲線模式，算出該樹種之最佳樹高曲線式。

(4)將有關資料，分別計算後填入下表(以台灣林相變更地—柳杉 10 年生以下造林面積 995.2565 公頃，平均每公頃株數 1,230 株為例)。

表五 直徑階之材積分佈表

(1) DBH 階 (cm)	(2) DBH 低限(cm) L	(3) DBH 高限(cm) U	(4) 各階機率 Pi	(5) 各階頻度 N x Pi	(6) 累積頻度	(7) 各階中點
2	0	3	0.0497	61	61	2
4	3	5	0.1507	185	246	4
6	5	7	0.2465	303	549	6
8	7	9	0.2595	319	868	8
10	9	11	0.1817	223	1,091	10
12	11	13	0.0832	102	1,193	12
14	13	15	0.0240	30	1,223	14
16	15	17	0.0042	5	1,228	16
18	17	19	0.0004	0	1,228	18
20	19	21	0.0001	0	1,228	20

(8) 平均高度 (m)	(9) 每株材積 (m ³)	(10) 每階材積 (m ³ /ha)	(11) 累積材積 (m ³ /ha)	(12) 每階總材積 (m ³)	(13) 總累積材積
2	0.0005	0.03	0.03	106.01	106.1
3	0.0031	0.57	0.60	2,014.13	2,120.15
5	0.0086	2.61	3.21	9,222.56	11,342.71
6	0.0179	5.71	8.92	20,176.57	31,519.28
7	0.0316	7.05	15.97	24,911.51	56,430.78
8	0.0503	5.13	21.10	18,129.11	74,557.89
9	0.0745	2.24	23.34	7,915.13	82,473.20
10	0.1048	0.52	23.86	1,837.43	84,310.45
10	0.1415	0.00	23.86	0.00	84,310.45
11	0.1851	0.00	23.86	0.00	84,310.45

上表各格的求法：

(1)(2)(3)乃訂定之胸高直徑和其各階的上下限。

(4)乃利用(2)(3)的 L, U 配合已求的 Weibull 機率密度函數的參數 b、c 以下式求之：

$$P_i(L < x < U) = \exp[-(\frac{L}{b})^c] - \exp[-(\frac{U}{b})^c]$$

(5)由(4)求得之 $P_i \times$ 每公頃之株數 N 得 NP_i 。

(6)由 $NP_i + NP_{i-1}$ 得之。

$$(7) \frac{(2)+(3)}{2} = \frac{L+U}{2} = D_i$$

(8)由已弄得之樹高曲線之 $H_i = f(D_i)$ 將(7)之 D_i 代入得 H_i 。

(9)依已求得之材積式 $V_i=f(D_i, H_i)$ 將(7)(8)代入求得 V_i 。

(10)乃以各階 $V_i \times (5)$ 。

(12)由(10) \times 面積。

(13)由(11) \times 面積。

以表列出全省各區某樹種齡級的直徑階材積表後，再分別累計如下(如以台灣林相變更柳杉造林地為例)：

表六 台灣林相變更柳杉造林地直徑階材積表

直徑階 (cm)	齡級			各直徑階總材積 (m ³)
	10年生以下	10年~15年生	15年生以上	
2	106.01			106.01
4	2,014.13	277.80	6.49	2,298.42
6	9,222.56	1,944.61	45.43	11,212.60
8	20,176.57	7,183.16	159.02	27,518.75
10	24,911.51	18,573.02	415.40	43,899.93
12	18,127.11	37,344.48	856.76	56,328.35
14	7,915.13	61,513.22	1486.35	70,914.70
16	1,837.43	83,578.61	2244.12	87,660.16
18		95,484.40	2938.62	98,423.02
20		91,079.25	3394.59	94,473.84
22		72,109.37	3446.51	75,555.88
24		47,940.63	3107.38	51,048.01
26		25,795.87	2461.56	28,257.43
28		10,397.72	1700.54	12,098.26
30		4,127.34	1098.54	5,225.88
32			597.14	597.14
34			232.04	232.04
36			134.68	134.68
合計	84,310.45	557,349.49	24,325.15	665,985.09

五、結果與討論

(一)單株材積式

以樹幹解析之伐倒木製作材積式，以往雖有柳杉立木材積式之研究(劉慎孝等，1955；楊榮啟，1972)，但因其屬於區域性或年齡分佈較大之故，對本實驗未必適合，而改以 61 株伐倒木製作連皮立木材積式，今以四個模式去配置後得如下結果：

表七 中小徑木柳杉立木材積式

連皮立木材積式	R	NSD
1. $V = 3.802386 \times 10^{-3} + 3.813705 \times 10^{-5} \times D^3 H$	0.989975	0.141240
2. $V = -6.176245 \times 10^{-3} + 1.967912 \times 10^{-5} D^2 + 1.718898 \times 10^{-3} H + 3.692712 (D^2 H)$	0.990967	0.134109
3. $V = 5.979663 \times 10^{-5} (D^{1.87533}) H^{0.974340}$	0.9963390	0.136011
4. $V = D \times D / [583.576568 + 18975.909717 \times (1/H)]$	0.944112	0.158139

其中(3)式 $V = 5.979663 \times 10^{-5} (D^{1.87533}) H^{0.974340}$ 最佳，因為對數值的算術平均數實為其原值的幾何均數，而幾何均數小於算術均數，故由對數材積方程式所得的材積推定值較實際材積略小，因此有使用下列 Meyer 係數(Meyer, 1930)修正的必要，以使其值略為增大(楊榮啟, 1975)：

$$f = 10^{1.1513} Sy_{.1}^2 \quad Sy_{.1} \text{ 為殘差均方的對數值}$$

本實驗連皮材積之最佳對數材積方程式的修正係數為 $f = 1.015253$ 。

(二)樹高曲線(Height-Diameter Relationship)

本實驗由 118 個樹高樣區，3223 株樣木之樹高、胸高直徑資料，去配置下列樹高曲線式(Hutch et al., 1973)：

- | | |
|--------------------------------|--------------|
| 1. $H = 1.3 + a D + b D^2$ | H = 樹高 |
| 2. $H = a + b \log D$ | D = 胸高直徑 |
| 3. $H = e^{a+b \log D}$ | e = 自然對數 |
| 4. $H = 1.3 + h (1 - e^{-cD})$ | a, b, h = 參數 |

其配置結果如下：

表八 中小徑木柳杉樹高曲線式

樹高曲線式	R	NSO
1. $H = 1.3 + 0.685273 \times D - 0.007504 \times D^3$	-0.2484046	0.642439
2. $H = -4.344984 + 5.275999 \times \ln(D)$	0.7533810	0.6575842
3. $H = \exp(0.393170 + 0.692453 \times \ln(D))$	0.8738634	0.648422
4. $H = 18.765151 - 18.306649 \times 0.952539^D$	-0.7669147	0.6417489

上切式中，以 3 式最佳，R 值為正且 R^2 最大，本實驗之樹高計算乃依本式計算之。

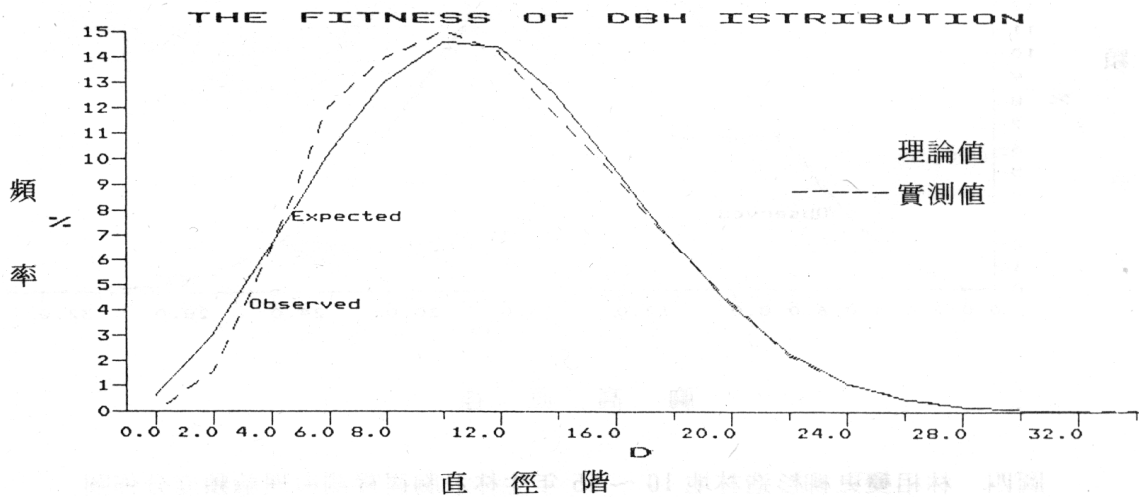
(三)Weibull 機率密度函數對直徑分佈的適合度測驗

以 Weibull 機率密度函數去配置(一)全省林相變更柳杉造林地 328 個樣區、11242 株樣本之胸徑(如表九、圖二)；(二)全省柳杉樣區 10 年生以下、10 至 15 年生、15 至 21 年生三個齡階之胸高直徑值(如表十、圖三、四、五)；(三)各個有柳杉樣區的事業區內柳杉樣本胸徑值，結果之理論值與實測值以 χ^2 測驗和 K-S 測驗(Kolmogorov-Smimov Test)發現皆在 0.05 的顯著水準下接受二頻度分佈無顯著差異的擬說(如表十一)，亦即 Weibull 機率密度函數因在配置林

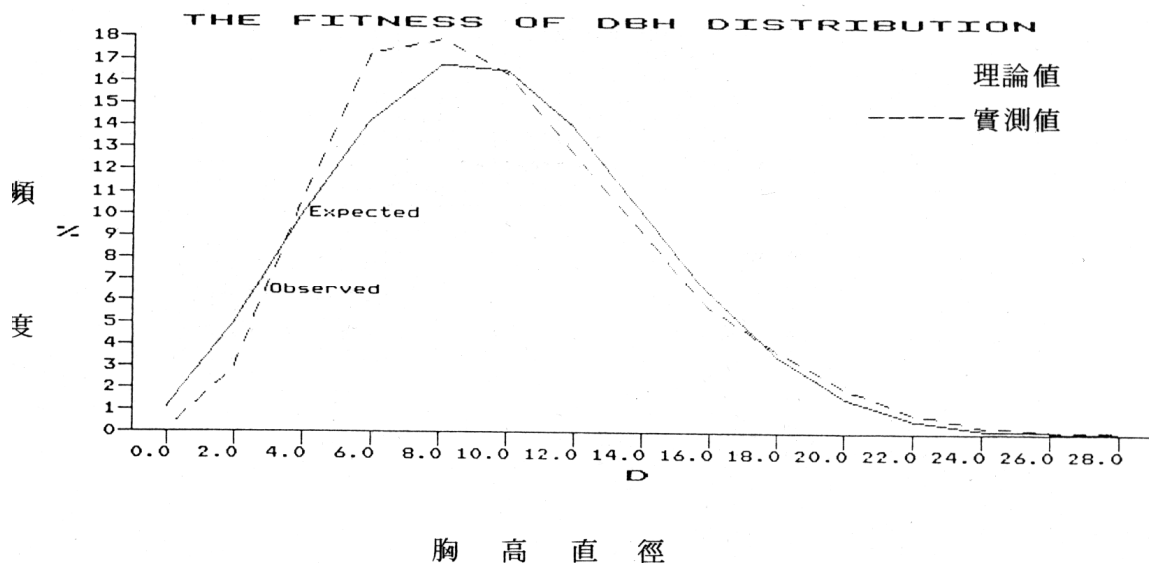
相變更柳杉造林地樣區內直徑分佈相當理想，故可被採用。而其不同齡階之理論分佈圖和 Weibull 函數 b、c 二參數值，可由圖六來表示，而 b、c 值與林分各種屬生的關係尚待研究，又 Weibull 函數去配置樹高階資料，其效果亦不錯，如圖七所示。

(四)直徑階材積分佈

經由步驟 2，吾人可算出全省林相變更柳杉造林地，目前平均每公頃蓄積量為 $86.89m^3$ ，若依齡級來看 10 年生以下，每公頃蓄量為 $23.86m^3$ ，10~15 年生為 $140.44m^3/ha$ ，15~21 年生則為 $149.91m^3/ha$ ，而大都為中小徑木，依各齡級直徑階分佈頻率最高之徑階分別為 10cm、18cm、22cm，若依目前各齡階面積 3,533.5464ha、3,968.5950ha 以及 162,2650ha 來推算，則材積量各為 $84,310.45m^3$ 、 $557,349.49m^3$ 、 $24,325.15m^3$ ，即全省林相變更柳杉造林地之立木材積總量為 $665,985.09m^3$ (如表六所示)。其他各齡級直徑階之材積分佈閱表五、表十一、表十二，倘若需要更詳細的各個事業區、林班之資訊，亦可將有關的資料依次代入求出，每公頃各直徑階材積量和該事業區、林班之總材積量，此資訊之獲得可提供林業經營之重要依據，至於木材經營中另一重要之參考資料—生長，則尚在研究中。



圖二 全省林相變更柳杉胸徑實測與理論分佈圖



圖三 林相變更柳杉造林地 10 年生以下實測與理論頻度分佈圖

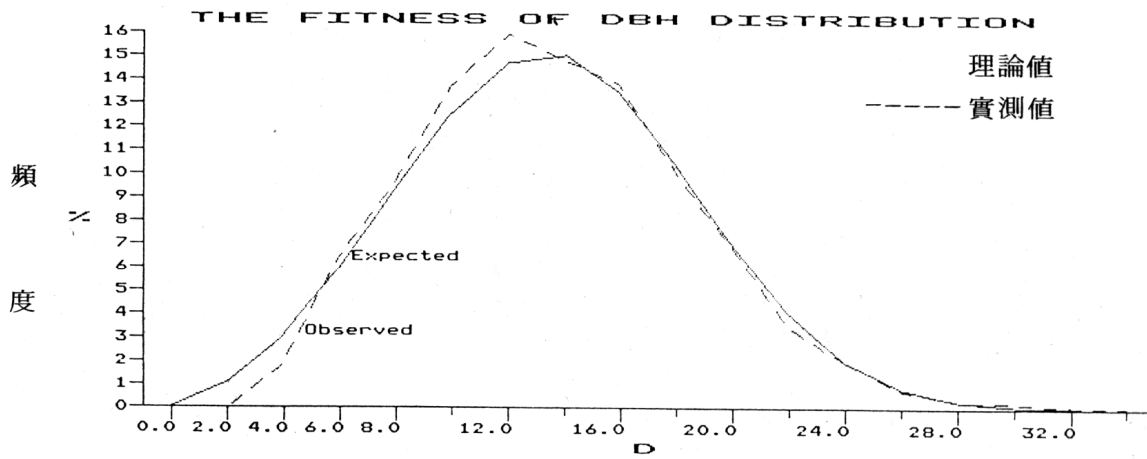
表九 全省林相變更柳杉造林地 11242 株樣木胸徑實測與理論頻度分佈表

The Weibull Distribution of Sample Trees Diameter

No. of sample trees	:	11242
Initial value of C	:	0.077636
No. of iterations	:	9
Smallest Diameter	:	0.8000000
Scale Parameter B	:	14.077132
Scale Parameter C	:	2.599729

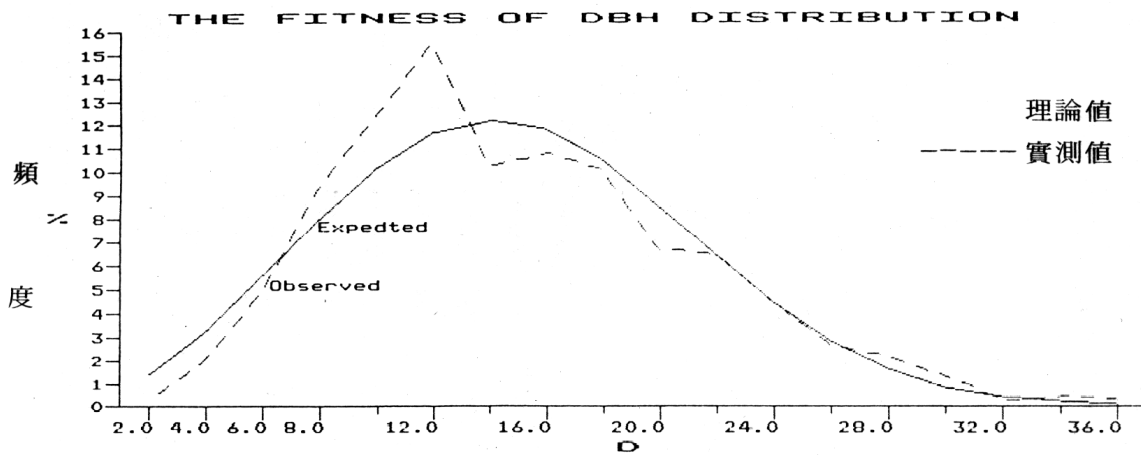
No.	Mean	Stocks	Expected	Stocks	Percentage	Expected	Percentage
1	0.0 — 1.9	1.40	10	70	0.1%	0.6%	
2	2.0 — 3.9	3.10	176	349	1.6%	3.1%	
3	4.0 — 5.9	5.10	728	741	6.5%	6.6%	
4	6.0 — 7.9	6.90	1364	1151	12.1%	10.2%	
5	8.0 — 9.9	8.90	1574	1478	14.0%	13.1%	
6	10.0 — 11.9	10.90	1691	1644	15.0%	14.6%	
7	12.0 — 13.9	12.90	1597	1614	14.2%	14.4%	
8	14.0 — 15.9	14.80	1316	1409	11.7%	12.5%	
9	16.0 — 17.9	16.80	1054	1096	9.4%	9.7%	
10	18.0 — 19.9	18.80	755	760	6.7%	6.8%	
11	20.0 — 21.9	20.80	487	469	4.3%	4.2%	
12	22.0 — 23.9	22.80	249	256	2.2%	2.3%	
13	24.0 — 25.9	24.60	128	124	1.1%	1.1%	
14	26.0 — 27.9	26.60	55	53	0.5%	0.5%	
15	28.0 — 29.9	28.70	26	20	0.2%	0.2%	
16	30.0 — 31.9	30.70	14	6	0.1%	0.1%	
17	32.0 — 33.9	32.70	6	2	0.1%	0.0%	
18	34.0 — 35.9	35.00	6	0	0.1%	0.0%	
19	36.0 — 37.9	36.80	2	0	0.0%	0.0%	
20	38.0 — 39.9	39.50	1	0	0.0%	0.0%	
21	40.0 — 41.9	40.60	1	0	0.0%	0.0%	
22	42.0 — 43.9	43.30	1	0	0.0%	0.0%	
23	50.0 — 51.9	51.30	1	0	0.0%	0.0%	
	Total		11242	11242	100.0%	100.0%	

Mean of All Diameters	:	12.4917274506289
Mean of Distribution	:	11.67877996893
Standard Deviation	:	5.12792989758393
Estimate of Skewness	:	82.2747580454774
Estimate of Kurtosis	:	2516.52395262008
Chi-Square Value	:	213.922491030593
D (Kolmogorov-Smirnov)	:	1.8946806618E-02
D (Critical value 0.01)	:	1.8114441835E-02
D (Critical value 0.05)	:	2.1709320242E-02

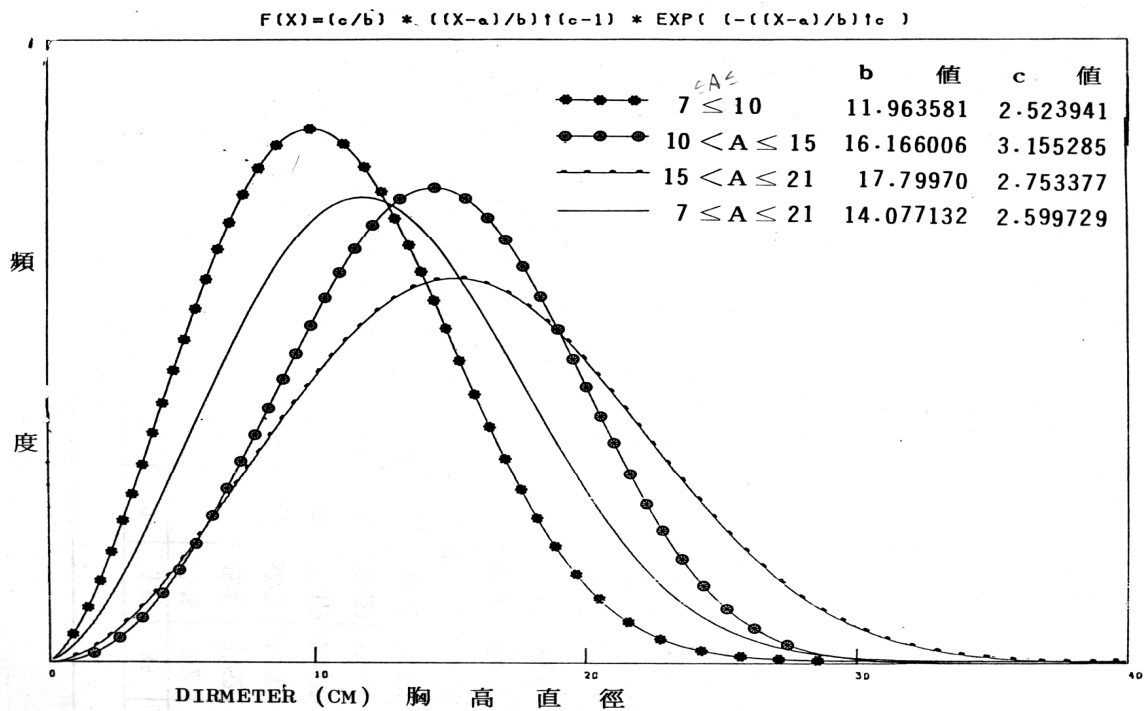


胸 高 直 徑

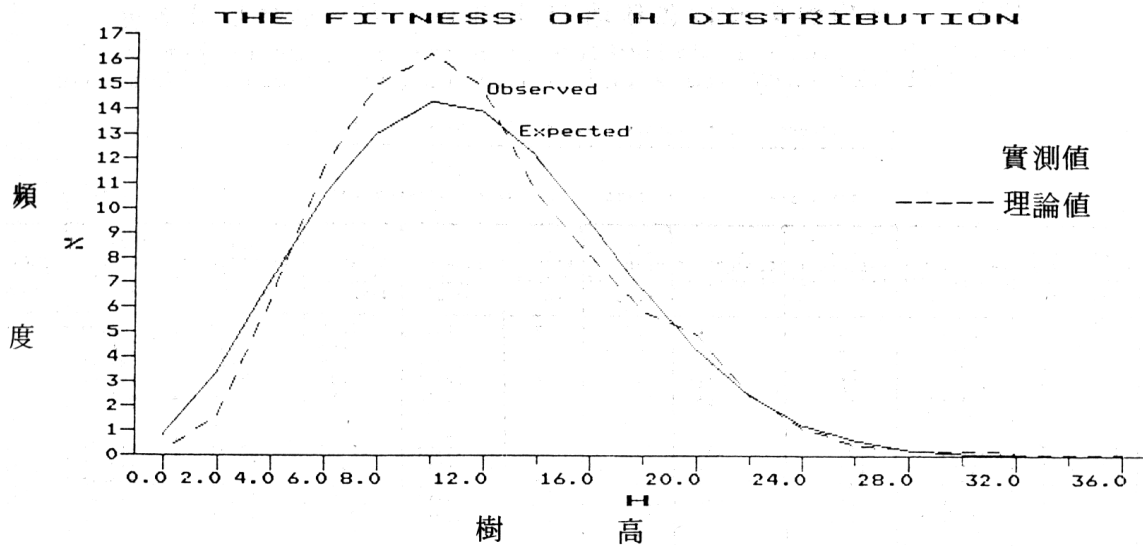
圖四 林相變更柳杉造林地 10~15 年生林木胸徑實測與理論頻度分佈圖



圖五 林相變更柳杉造林地 15 年生以上林木胸徑實測與理論頻度分佈圖



圖六 林相變更柳杉造林地三個齡階理論頻度分佈和 b、c 二參數比較圖



圖七 林相變更柳杉造林地樹高實測理論頻度分佈圖

表十 不同事業區柳杉直徑分佈之理論與實測值比較表

直徑階	事業區 (觀察株數/理論株數)																
	02	04	06	07	08	10	13	14	19	23	28	29	30	33	35	37	
1	5/26	14/43	1/1					2/7			14/37			13/16	2/2	7/5	
3	131/158	76/113	7/8					15/36	1/6		92/70	8/17		46/41	32/52	17/16	
5	380/340	207/206	17/21	3/2	7/7	1/3	5/6	69/77	19/14		129/109	35/42	50/39	82/77	110/98	27/31	
7	457/442	314/305	37/35	4/2	17/15	5/6	17/14	159/120	32/21	7/6	156/145	67/75	90/74	131/119	150/145	34/32	
9	387/380	438/389	47/44	1/3	25/24	16/10	22/25	157/153	19/24	19/20	158/170	109/108	70/84	131/152	182/177	13/14	
11	183/216	466/436	42/41	1/3	31/27	13/13	31/36	187/169	15/22	35/42	154/178	159/132	53/56	166/161	259/181	3/2	
13	83/79	439/432	25/29	5/3	20/23	11/14	49/44	155/164	9/15	44/43	162/166	147/142	22/20	137/138	133/153		
15	29/18	394/379	13/15	5/3	9/14	13/12	51/46	127/140	15/8	19/13	160/138	137/134	3/3	85/93	80/107		
17	5/2	296/294	8/6	1/2	9/6	7/8	48/41	98/106	5/3	1/1	113/101	98/111	2/2	58/47	38/61		
19	2/0		4/1	3/1	0/0	3/4	22/30	61/71			63/65	83/80		16/17	28/28		
21		171/200		1/1	2/0	1/1	11/18	49/42			37/37	51/50		6/4	10/10		
23		95/118		1/0		2/0	14/9	18/22			13/18	30/27		1/1	6/3		
25		56/61					3/3	13/10			7/7	7/13			2/1		
27		23/27					2/1	8/4			1/1	5/5			2/0		
29		11/10					1/0	3/1			1/0	2/2			1/0		
31		11/3						1/0			1/0	1/0			1/0		
33		4/1										1/0					
35		4/0										0/0					
37		2/0										1/0					
	1662/1661	3023/3017	201/201	25/20	120/116	72/40	276/276	1122/1122			125/125	1261/1242	941/938	290/276	872/866	1036/1018	101/100
χ^2	43.3858	81.0246	11.7152	12.3333	4.57789	6.20119	12.8041	45.8565	24.8416	4.1758	36.2786	17.3175	9.2561	10.0923	65.1882	2.0750	
D_n	0.0239	0.01595	0.0199	0.06990	0.04569	0.08137	0.0302	0.03476	0.0924	0.0599	0.02119	0.02824	0.0422	0.02529	0.0722	0.04267	

表十一 林相變更柳杉造林地 10~15 年生直徑階材積分佈表

THE VOLUME DISTRIBUTION TABLE OF DIAMETER CLASSES

SPECIES : 118 AGE : 10-15 AREA : 3,968.5950(HA) STOCK/HA : 1,370

(1) diameter class (cm)	(2) lower limit (cm)	(3) upper limit (cm)	(4) theoretical probability	(5) frequency (stock/ha)	(6) cumulative frequency	(7) mean diameter (cm)	(8) Mean height (h)	(9) single volume (m**3)	(10) class volume (m ³ /ha)	(11) cumulative volume (m ³ /ha)	(12) total volume (m**3)	(13) cumulative total volume (m**3)
2	0	3	0.0043	6	6	2	2	0.0005	0.00	0.00	0.00	0.00
4	3	5	0.0177	24	30	4	3	0.0031	0.07	0.07	277.80	277.80
6	5	7	0.0415	57	87	6	5	0.0086	0.49	0.56	1,944.61	2,222.41
8	7	9	0.0734	101	188	8	6	0.0179	1.81	2.37	7,183.16	9,405.57
10	9	11	0.1079	148	336	10	7	0.0316	4.68	7.05	18,573.02	27,978.59
12	11	13	0.1365	187	523	12	8	0.0503	9.41	16.46	37,344.48	65,323.07
14	13	15	0.1515	208	731	14	9	0.0745	15.50	31.96	61,513.22	126,836.30
16	15	17	0.1469	201	932	16	10	0.1048	21.06	53.02	83,578.61	210,414.91
18	17	19	0.1241	170	1102	18	10	0.1415	24.06	77.08	95,484.40	305,899.31
20	19	21	0.0905	124	1226	20	11	0.1851	22.95	100.03	91,079.25	396,978.56
22	21	23	0.0565	77	1303	22	12	0.2360	18.17	118.20	72,109.37	469,087.93
24	23	25	0.0297	41	1344	24	13	0.2946	12.08	130.28	47,940.63	517,028.56
26	25	27	0.0130	18	1362	26	14	0.3613	6.50	136.78	25,795.87	542,824.43
28	27	29	0.0047	6	1368	28	14	0.4365	2.62	139.40	10,397.72	553,222.15
30	29	31	0.0014	2	1370	30	15	0.5204	1.04	140.44	4,127.34	557,349.49
32	31	33	0.0003	0	1370	32	16	0.6135	0.00	140.44	0.00	557,349.49
34	33	35	0.0001	0	1370	34	17	0.7161	0.00	140.44	0.00	557,349.49
36	35	37	0.0003	0	1370	36	17	0.8285	0.00	140.44	0.00	557,349.49

表十二 林相變更柳杉造林地 15 年生以上直徑階材積分佈表

THE VOLUME DISTRIBUTION TABLE OF DIAMETER CLASSES

SPECIES : 118 AGE : >=15 AREA : 162.2650(HA) STOCK/HA : 1,033

(1) diameter class (cm)	(2) lower limit (cm)	(3) upper limit (cm)	(4) theoretical probability	(5) frequency (stock/ha)	(6) cumulative frequency	(7) mean diameter (cm)	(8) Mean height (h)	(9) single volume (m**3)	(10) class volume (m ³ /ha)	(11) cumulative volume (m ³ /ha)	(12) total volume (m**3)	(13) cumulative total volume (m**3)
2	0	3	0.0037	4	4	2	2	0.0005	0	0.00	0.00	0.00
4	3	5	0.0140	14	18	4	3	0.0031	0.04	0.04	6.49	6.49
6	5	7	0.0311	32	50	6	5	0.0086	0.28	0.32	45.44	51.93
8	7	9	0.0535	55	105	8	6	0.0179	0.98	1.30	159.02	210.95
10	9	11	0.0785	81	186	10	7	0.0316	2.56	3.86	415.40	626.34
12	11	13	0.1020	105	291	12	8	0.0503	5.28	9.14	856.76	1,483.10
14	13	15	0.1197	123	414	14	9	0.0745	9.16	18.30	1,486.35	2,969.45
16	15	17	0.1276	132	546	16	10	0.1048	13.83	32.13	2,244.12	5,213.58
18	17	19	0.1235	128	674	18	10	0.1415	18.11	50.24	2,938.62	8,152.20
20	19	21	0.1034	113	787	20	11	0.1851	20.92	71.16	3,394.59	11,546.78
22	21	23	0.0876	90	877	22	12	0.2360	21.24	92.40	3,446.51	14,993.29
24	23	25	0.0633	65	942	24	13	0.2946	19.15	111.55	3,107.38	18,100.67
26	25	27	0.0410	42	984	26	14	0.3613	15.17	126.72	2,461.56	20,562.23
28	27	29	0.0237	24	1,008	28	14	0.4365	10.48	137.20	1,700.54	22,262.76
30	29	31	0.0122	13	1,021	30	15	0.5204	6.77	143.97	1,098.54	23,361.30
32	31	33	0.0055	6	1,027	32	16	0.6135	3.68	147.65	597.14	23,958.43
34	33	35	0.0022	2	1,029	34	17	0.7161	1.43	149.08	232.04	24,190.47
36	35	37	0.0007	1	1,030	36	17	0.8285	0.83	149.91	134.68	24,325.15
38	37	39	0.0002	0	1,030	38	18	0.9509	0	149.91	0.00	24,325.15
40	39	41	0.0001	0	1,030	40	19	1.0838	0	149.91	0.00	24,325.15
42	41	43	0.0001	0	1,030	42	19	1.2274	0	149.91	0.00	24,325.15

六、結論

用 Weibull 機率密度函數配置直徑分佈和以林分結構法推測各直徑階林分收穫(蓄積)，已獲理想之結果，其法可適用於台灣林相變更地林分調查分析之因，並提供林業經營更精確的資料。

參考文獻

1. 劉慎孝，1965，森林測計上立地品位查定方法之比較研究，農林學報 14 輯。
2. 楊榮啟，1975，台灣實驗林產柳杉之生長與收穫的研究，台灣大實驗林研究報告 116 號。
3. 楊榮啟、林文亮，1978，Weibull 機率密度函數式及其在林業上之應用，台灣林業 4(5)、4(6)。
4. 木梨謙吉、西次正久、長正道，1976，林分ツエレミヨソに對する生長モデルの研究(I) —モデル設定の概要，日本林學會九州支部研究論文集第 29 號別冊。
5. Amateis R. L. Burkhart H. E. Knoebel B. R. and Sprinz P. T. 1984. Yields and Size Class Distributions for Unthinned Loblolly Pine Plantations on Cutover Site-prepared Lands. No. FWS-2-84 School of Forestry and Wildlife Resources of VPI.
6. Bailey R. L. and T. R. Dell 1973. Quantifying Diameter with the Weibull Function. For. Sci. 19 : 97-104.
7. Bailey R. L. 1974. Announcement : Computer programs for Quantifying Diameter Distributions with the Weibull Function. For. Sci. 20(3).
8. Bailey R. L. Piennar L. V. Shiver B. D. and Rheney J. W. 1982. Stand Structure and Yield of Site-prepared Slash Pine Plantation. U. of Georgia College of Agr. Exp. Sta. Research Bulletin 291.
9. Bailey R. L. Grider G. E. Rheney J. W. and Pienaar L. V. 1985. Stand Structure and Yields for Site-Prepared Loblolly pine plantation in the Piedmont and Upper Coastal Plain of Alabama. Georgia and South Couth Carolina Georgia Agr. Exp. Sta. Research Bulletin.
10. Bennet F. A. and Clutter J. L. 1968. Multiple-product Yield Estimates for Unthinned Slash Pine Plantation-pulpwood, Sawtimber Gum. USDA SE-35.
11. Bliss and Reinker. 1964. A Lognormal Approach to Diameter Distributions in Even-Aged Stands. For. Sci, 10(3).
12. Burkhart H. E., Q. V. Cao. and K. D. Ware 1981. A Comparison of Growth and Yield Prediction Models for Loblolly Pine. FWS-2-81, VPI.
13. Chen C. M. and Rose D. W. 1975. Estimating A Height Distribution From a Diameter Distribution in Even-aged Stands. U. of Minnesota Sci. Jornal Service No. 9376.
14. Chen C. M. and Rose D. W. 1978. Direct and Indirect Estimation of Height Distributions in Even Aaged Stands. Min. For. Res. Notes No. 267.
15. Clutter J. L. and Bailey F. A. 1965. Diameter Distribution in Old-Field Slash Pine Plantation. Georgia For. Res. Council Report No. 13.
16. Clutter J. L. Fortson J. C. Pienaar L. V. Brister G. H. and Bailey R. L. 1983. Timber Management- A Quantitative Approach. John Wiley & Sons. p1-132.

17. Dell T. R. Feduccia D. P. Campbell T. E. Man W. F. JR. and Polmer B. H. 1979. Yields of Unthinned Slash Pine Plantations on Cutover Sites in the West Gulf Region. USDA Res. Paper so-147.
18. Husch B. Miller C. I. and Beers T. W. 1972. Forest mensuration the Ronald Press Company 410pp.
19. Leak W. B. 1970. Sapling Stand Development : A Compound Experimentail Process For. Sci. 16(2).
20. Loetsch F. -Zöhrer F. a Holler KE. 1973. Inventory Vol. (2) BLV Verlagsellschaft Munchen Bern Wien 943-77.
21. Murply P. A., Farrar R. M. 1982. Calculation of Theoretical Uneven-Aged Stand Structures with the Exponential Distribution. For. Sci. 28(1).
22. Smalley G. W. and R. L. Bailey 1974. Yield, Tables and Stand Yield Table and Stand Structure for Shortleaf Pine Plantations in Tennessee Alabama and Georgia Highlands. USDA SO-97.
23. Sokal R. R. and F. J. Rohalf 1981. Biometry 2ed W. H. Freeman Comp. P400-454.