

利用林木位置圖探討孔隙對林木生長之影響

馮豐隆¹ 李宣德²

【摘要】本研究的目的是以馮、李（2000）GIS 方法繪製不同密度的柳杉永久樣區之林木位置圖，配合胸高直徑-樹冠迴歸式繪製樹冠投影圖，觀察其孔隙變化情形，並嘗試由 Schnute 單株生長模式及其參數變化來探討孔隙對林木生長產生的影響。結果顯示，孔隙變化愈大，其生長潛力愈強及其參數變化愈大，建議無論林分生長模式與單株林木生長模式，宜加入表示孔隙的參數。

【關鍵字】林木位置圖、樹冠投影圖、孔隙、生長模式

Using Individual Tree Location Map to Explore Gap Influence on Tree Growth

Fong-Long Feng¹ Hsuan-Te Lee^{1,2}

【Abstract】In the study, the tree location map of 5 different density of permanent sampling plots (PSPs) in *Cryptomeria japonica* were made with the GIS approach of Feng & Lee (2000) at first. Then, tree crown closure maps were made to investigate the gap change in different ages. The parameters of Schnute individual tree growth models were used to explore the change of gap influence upon the tree growth. The results showed that the wider the gap, the larger carrying capacity of the growth and parameters of the Shnute model. The gap variables were suggested to put in the stand growth model and individual tree growth model for estimating efficiently.

【Key words】individual tree location map, crown closure map, gap, growth model.

一、前言

森林生態系是一個動態的體系，經歷自然或人為干擾造成孔隙。如當樹木死亡而倒伏時，森林林木冠層間會形成孔隙，孔隙可以促成林木的更新、生長，提高樹木的存活率，構成森林，孔隙再次被填滿而消失，如此周圍林木亦有類似情況發生，造成孔隙一

再形成又一再鬱閉，周而復始，反覆循環。森林孔隙的概念最早是由 Watt 於 1947 所提出，即一株林木的死亡，樹冠隨之消失，在森林中造成一個嵌塊體（Shugart & West, 1977），即森林會因外在或內在干擾，使得部分或單株冠層樹木倒伏，形成樹冠孔隙；而孔隙變化即是樹冠之陰影所造成的競爭關係

1. 國立中興大學森林學系教授（通訊作者）
Professor, Department of Forest, NCHU. (Correspondent author)
2. 國立中興大學森林學碩士
Master, Department of Forest, NCHU.

的變化情形。

孔隙對林分、族群的生長是相當重要，其可由 GIS 建構的林木位置圖（馮、李，2000）和生長模式，來推斷孔隙的型態和植生生長的反應、影響族群的組成和結構、量化型態。凡此，對瞭解森林動態是非常重要的。孔隙動態足以決定往後森林樹木的組成，對整個森林生態系造成時間及空間上之變化。

二、材料與方法

（一）研究區概況

試驗地位於台大溪頭實驗林之觀音樹湖及溪頭湖柳杉人工林之永久樣區，係 1929 年及 1930 年春季栽植造林，苗木為二年生實生苗，共分為五種密度〔即每公頃 1000、2000、4000（觀音樹湖營林區，第二林班）及 3000、5400（溪頭湖營林區，第六林班）〕，為一連續調查

資料，至今仍依然，其樣區位置如圖 1 所示。

選擇每公頃 1000、2000、3000、5400 株栽植林分的生長資料，其中變化較大的四年（15 年生、26 年生、32 年生及 58 年生）的林分，考量不同大小孔隙的林木，進行林木孔隙及生長變化狀況的了解與分析。

（二）研究方法

1. 樹冠投影圖製作：

依馮豐隆、李宣德（2000）文中所提之方法，進行繪製永久樣區設立時之林木位置圖，並將之數化建檔於 GIS 中。以林木位置圖為基準，利用胸高直徑與樹冠迴歸關係之方程式，由胸高直徑算出樹冠直徑，並假設其樹冠是呈現均勻圓形（即圓形中心即為樣木之位置），經由 ARC/INFO 及 ARCVIEW 等地理資訊系統軟體繪製而成，再利用樹冠投影圖及樣區範

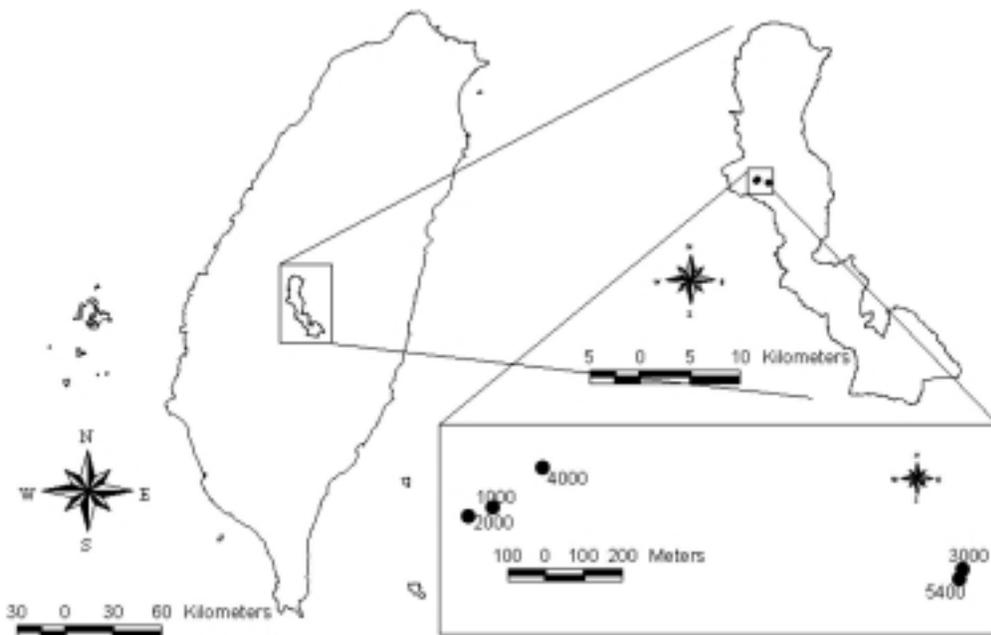


圖 1. 台大實驗林柳杉五種栽植密度之永久樣區位置圖

Fig. 1. The 5 different density of permanent sampling plots in *Cryptomeria* of experiment forest of National Taiwan University.

圍加以疊合，求得孔隙分布圖。

2. 胸高直徑與樹冠迴歸關係：

利用焦國模於 1970 年所求得的樹冠與胸高直徑迴歸關係之方程式， $Y = 8.589062 + 2.043200 X^2 - 0.225862 X^3$ ，其中 X 表胸高直徑、Y 表樹冠直徑，此資料 DBH 適用範圍在 40 cm 以內皆適用。

利用此方程式求得各林木之樹冠大小，進而跟林木位置圖結合，繪製出林分孔隙圖，並將落在樣區外的樹冠移除，可加以瞭解樣區在不同時間歷程中，林分孔隙之變化情形。

3. 利用 Schnute 生長模式來比較分析：

Schnute (1981) 利用簡要的生物原則—加速生長 (growth acceleration) 導出一個生長模式，所謂加速生長即是以相對生長率 (relative growth rate, RGR; Z, accelerative growth rate) 的相對生長率 $(1/z) \cdot dz/dt$ 成直線的關係： $(1/z) \cdot dz/dt = -(a+bz)$ ；配合兩個年齡 (T_1, T_2) 和其大小 (W_1, W_2) ，而導出此式稱做 Schnute 一般化模式，其公式如下：

$$W = \left[W_1^s + (W_2 - W_1) \times \frac{1 - e^{-r(T_1)}}{1 - e^{-r(T_1-T_2)}} \right]^{\frac{1}{s}}$$

式中的 W_1, W_2 為年齡 T_1, T_2 的大小； r, s 為參數。

這個模式代表著八種可能的特徵形狀，主要決定於四條線：(1)r軸；(2)s軸；(3)s=1；

4. $s = \frac{T_1 - T_2}{\ln(W_1 - W_2)} \times r$ 其範圍區分如圖 2。

若把這 8 種生長曲線，和其 r, s 範圍分別予列出如圖 3。

此模式的形狀受制於 r, s 值，若在 $T_2 > T_1, W_2 > W_1 > 0$ 的設定下，則此生長模式包括了具有漸近、反曲的 S 型曲線，也包括了二次生長式 (quadratic growth equation)、幕次生長式 (power growth equation)、指數生長 (exponential growth equation) 和直線生長 (linear growth)。另外 Schnute 模式的母數如 W_1, W_2 可直接由觀察資料得到，母數相當穩定皆是其優點，在生長模式應用上，甚值推薦 (馮豐隆，1990；楊榮啓，1989)。

比較分析的項目如下：

(1) 林分在不同時間，是否因為孔隙變化，而

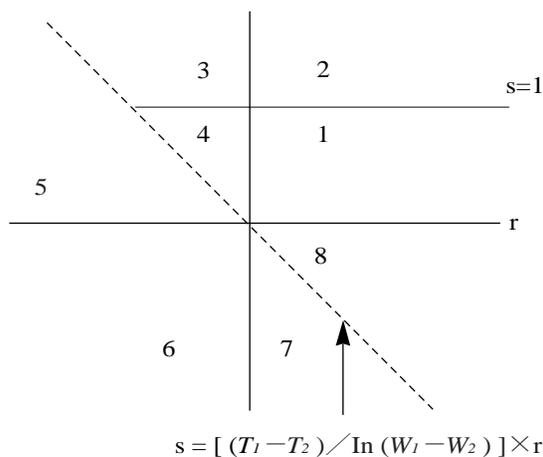


圖 2. 在 r, s 座標上由 4 條線區分成 8 區，實線為 r 軸、 s 軸，平行 r 軸的實線為 $s=1$ ，斜率為負的對角線之虛線為 $s = \frac{T_1 - T_2}{\ln(W_1 - W_2)} \times r$ (Schnute, 1981; Feng, 1997)

Fig. 2. Set of 8 regions in the r, s -plane defined by 4 lines (Schnute, 1981; Feng, 1997)

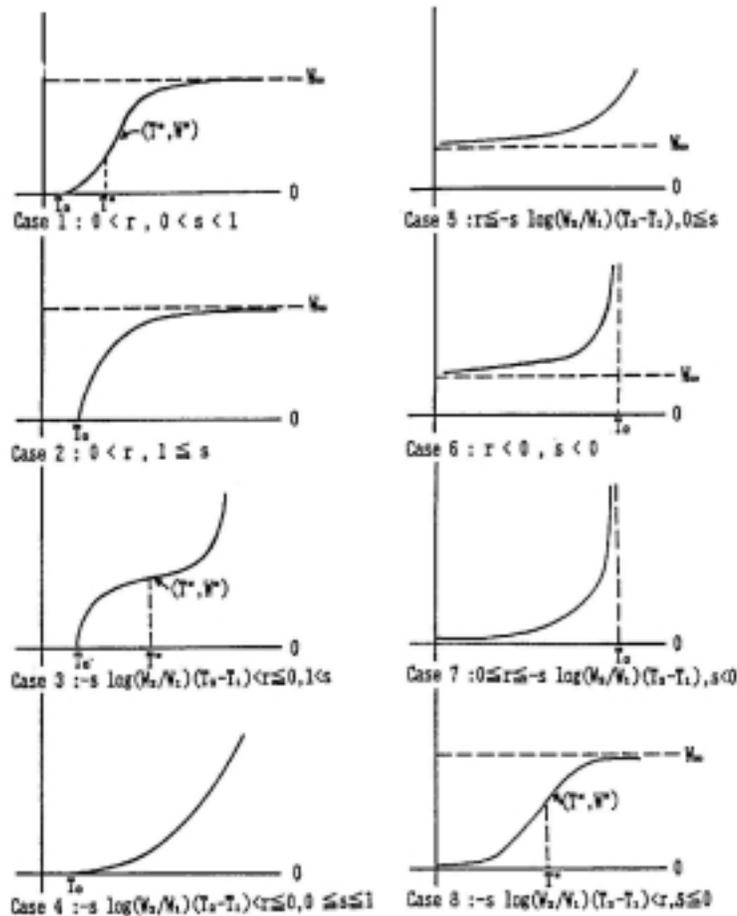


圖 3. 8 種特徵生長曲線，縱座標為大小，橫座標為”年齡” (Schnute, 1981；馮豐隆，1990；馮豐隆，1997)

Fig.3. There are 8 kinds of growth curves by Schnute model.(Schnute, 1981；Feng, 1990；Feng, 1997)

對生長有所影響。

- (2) 是否因為林木死亡，使孔隙發生變化，而對孔隙周圍之林木的生長有所影響（選擇依據：該林木死亡前後，半徑為 6 m 的範圍內並無其他林木死亡）。
- (3) 單株林木之生長，是否會因為孔隙的變化而有所影響（選擇依據：林齡為 58 年之林木，半徑為 6 m 的範圍皆在樣區內）。

三、結果與討論

(一) 林分孔隙變遷情形

根據台大實驗林之永久樣區，58 年來長期的調查資料發現，林木之存活、枯死情形在 15、26、32 年時，變化較大，故後續分析皆以此三個時期為基準，來進行分析。

樹冠投影為重要的測計項目，可以由其發現林木樹冠之空間分布情形，可以用來推測林分材積、林分密度，並可以供疏伐控制，對經營者而言，是一個作為經營決策的一項依據。藉由地理資訊系統將林木的樹冠及孔隙分布狀況迅速的展現出來，解決了以往繪製林木位置圖時，費時費工的問題，達

到省時又便利的目的。

圖 4 即以馮豐隆、李宜德 (2000) G 以裝圖法，將柳杉密度每公頃 1,000 株的永久樣區建立時之林木位置圖，配合焦國模 (1970) 設立之樹冠—胸高直徑迴歸式，繪製樹冠投影圖及孔隙分布圖。

圖 5 則表示柳杉密度 1000 (株/ha) 樣

區其孔隙在變化較激烈的 15 年生、26 年生、32 年生及 58 年生時的變化情形。

不同密度每公頃 1,000 株、2,000 株、3,000 株及 5,400 株之柳杉生長試驗地，在 15 年、26 年、32 年、58 年時之林木位置圖、樹冠投影影響及孔隙分布圖，則可由附錄一孔隙變遷圖觀之。

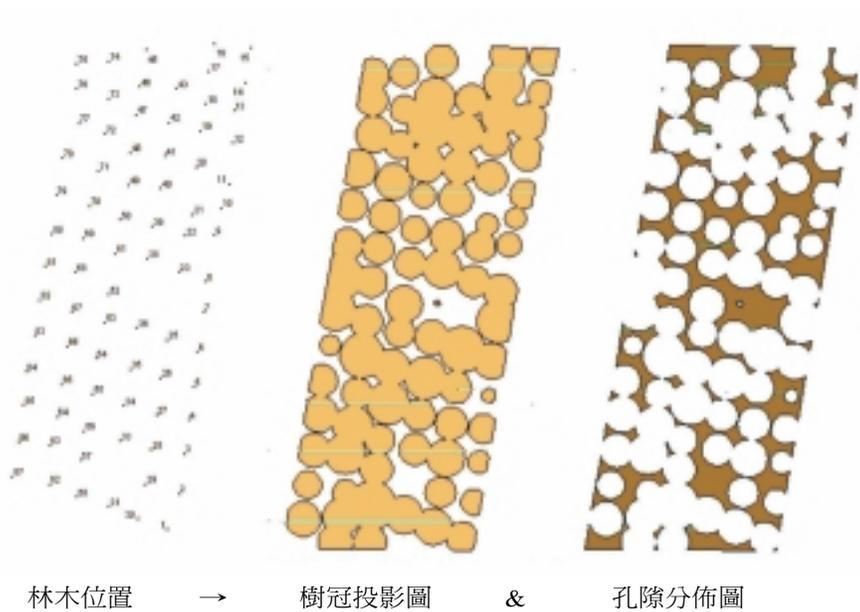


圖 4. 密度1000之柳杉樣區樹冠及孔隙空間分布

Fig. 4. The spatial distribution of crowns and gap in density-1000 sampling of *Cryptomeria*.

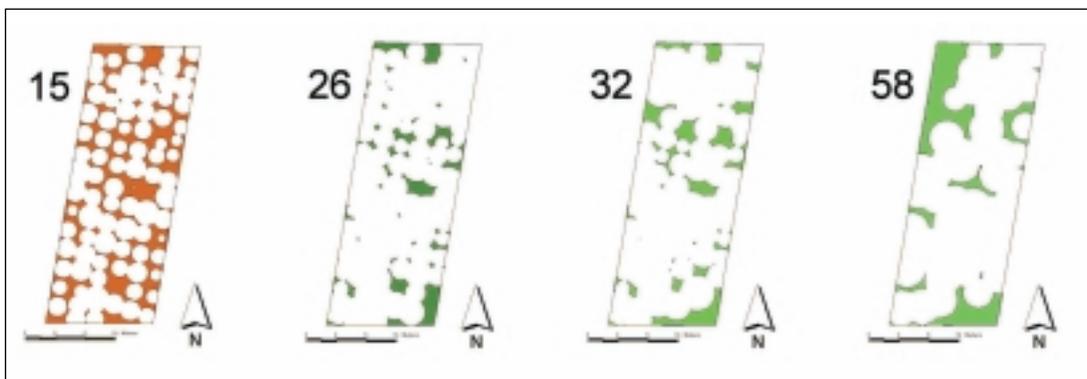


圖 5. 密度 1000 柳杉樣區孔隙變遷情形

Fig. 5. The change of gap in density-1000 sampling of *Cryptomeria*.

(二) 孔隙對生長之影響

分別從不同的角度，透過 Schnute 生長模式，來描述孔隙對生長之影響。

1. 根據整個林分而言

利用樣區的連續調查資料，分別繪製在 15 年生、26 年生、32 年生及 58 年生時，樣區的林分平均胸高直徑的 Schnute 生長曲線，如圖 6 所示，發現林齡越大時，其生長的潛能就越大，又由於每個樣區在不同時間裡，因為林木的枯死，而使孔隙總面積增大。因此，推斷孔隙越大時，林分平均胸高直徑、生長曲線的漸近線愈高，亦即林分的生長潛能有增加的趨勢。所以，孔隙能影響林分的生長。但此亦顯示，林分要有充分的空間生長，當林分郁閉後，疏開則生長當又快速往上的生長路徑走。另外又顯示，建立林分生長模式時，宜將其周

遭之“孔隙”納入考慮。否則，只考量時間（林齡）的生長模式是無法有效掌握林分在不同孔隙環境下之生長。至於其考量的空間範圍則需要再加以探討。

2. 林木死亡前後對其影響帶的範圍內之林木生長的探討

林木死亡後，探討在其影響圈內（焦國模於 1970 年提出之樹冠與胸高直徑迴歸關係之方程式的最大值為 6 m，而根系競爭為樹冠競爭之二倍大，故影響圈範圍採用半徑 6 m），其他林木之生長，以林木編號 1_32 為例，此單株存活 15 年，以 1_32 為中心，在半徑為 6 m 的範圍內，探討林木死亡前（1~15 年）及死亡後（1~26 年）範圍內存留木平均胸高生長曲線的比較，在此期間，此範圍內並無其他林木死亡，從圖 7 中，可以發現當林木死亡後，

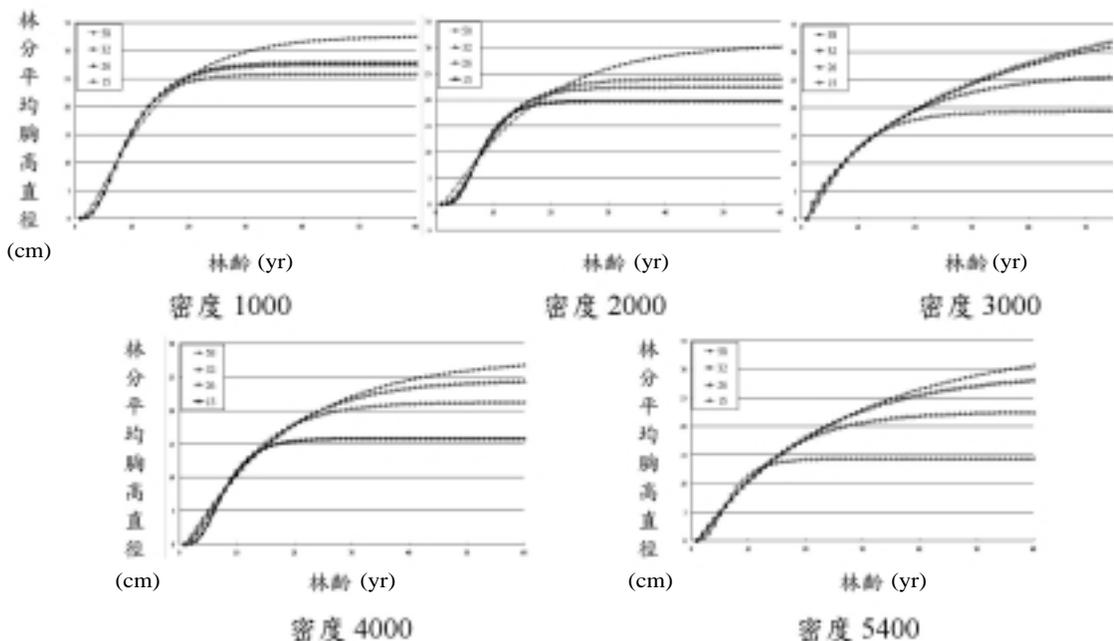


圖 6. 在 15 年、26 年、32 年、58 年生時，林分平均胸高直徑生長資料；以柳杉五種密度之林分，以 Schnute 生長曲線進行不同密度、不同時期資料之生長模擬表現（橫軸為林齡 (yr)，縱軸為林分平均胸高直徑生長量 (cm)）

Fig. 6. The Schnute growth curve of average stand DBH of each density stand (1000, 2000, 4000, 5400 stems per ha.) in age 15, 26, 32, 58.

對其鄰近林木之生長具有正面的效果，即胸高直徑的生長潛能變大（生長曲線的漸近線愈高），因此推斷鄰近孔隙增加，更加強了林木的生長。

3. 從單株林木生長來探討

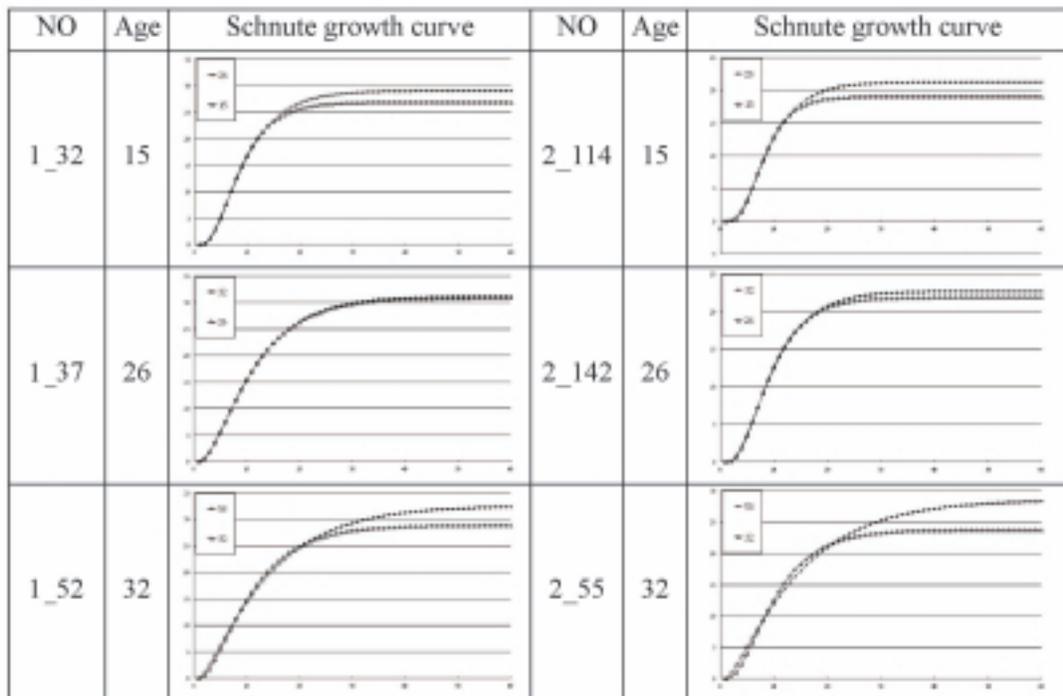
將林齡為 58 年之林木，分別在其 15 年生、26 年生、32 年生及 58 年生時，求算其 Schnute 生長曲線，並繪製出在不同時間歷程中，Schnute 生長曲線及在其影響圈範圍內孔隙變化之簡圖（即以林木位置表示），如圖 8 所示。

在圖 8 中可發現 Schnute 生長曲線隨時間增加有上升之趨勢，而林木株數變化會隨著時間而減少，即孔隙會漸漸增加。表 1 其生長參數 r 值，會隨著時間的增加而有下降之趨勢，而 s 值則反之，可以看出孔隙的變化，也會影

響到單株林木之生長，而其最大生長量亦會隨著時間的增加而變大，至於連年生長量之最大值皆發生於孔隙出現之前，是由於杉木在幼年時生長速率較快之原因。綜合上述所呈現出的結果，吾人推斷由於林木死亡，導致孔隙增加，使得仍存活之林木競爭減小，導致其生長潛能再度受到激發，因此孔隙的變化會影響林木的生長。而樣木 2_40 的 4 個時期的生長曲線幾乎重疊，似乎沒有因為孔隙的發生，而導致變化，在此作一個推論，有可能是因為杉木的環形影響帶並沒有這麼大，因此未來可朝向孔隙可影響的範圍作研究。

四、結論

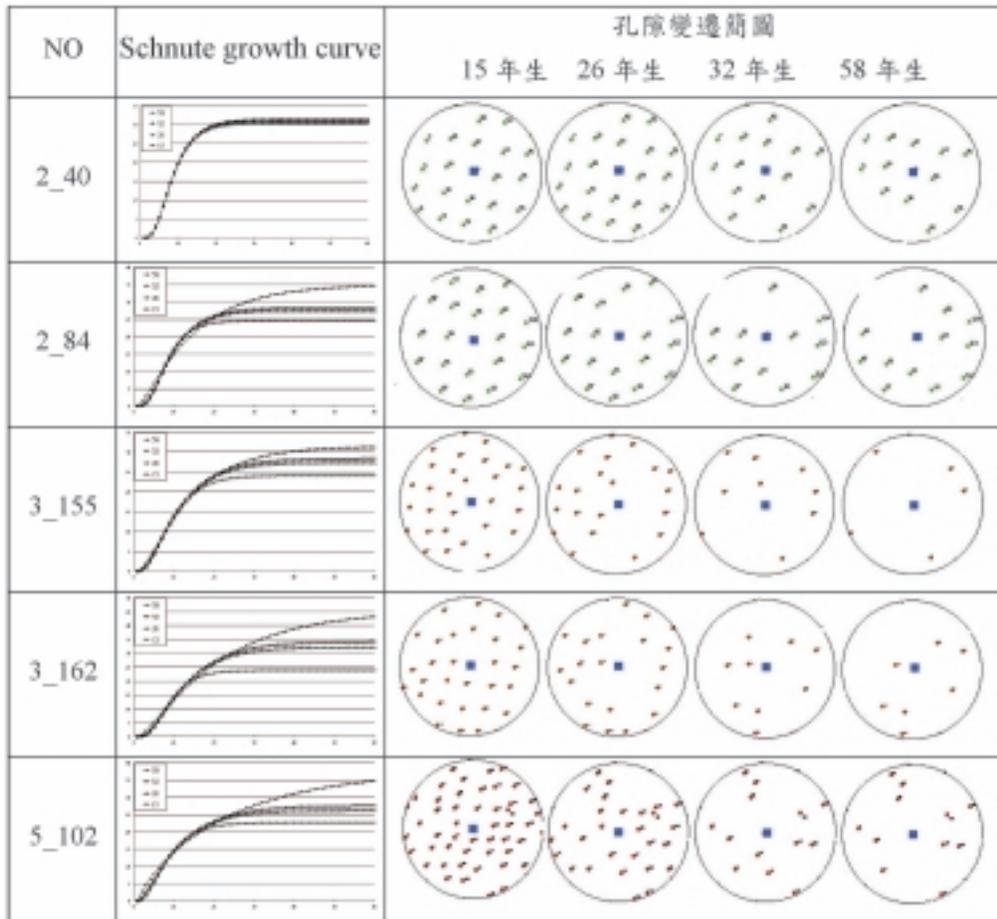
由本研究得知，永久樣區及空間資訊在森林經營決策上提供生長變化資訊相當重要的角



註：橫軸為林齡(yr)，縱軸為生長量(cm)

圖 7. 林木死亡前後鄰近林木之胸高直徑生長比較

Fig. 7. Comparison of DBH growth of the neighbor tree before and after death.



註：Schnute 生長曲線圖之橫軸為時間(yr)，縱軸為生長量(cm)

圖 8. 單株林木Schnute生長曲線及孔隙變化之簡圖

Fig. 8. The growth curves of interested individual trees and gap change in different ages.

色。孔隙是影響林木生長、林分結構、林分生長的重要機制，當孔隙變化大的時期，其生長潛能會增大及模式參數的變化也愈大。因此，建議在探討林分生長及林木單株生長時，宜將“孔隙”的變化納入模式中，以便能較有效地預測森林動態。然而，孔隙形成的時間的範圍和空間尺度對林木、林分的生長發育、森林演替以及地景的變遷的影響如何，宜再加以研究探討。

五、引用文獻

- 馮豐隆（1990）人工林林分結構與生長量化理論之研究。國立台灣大學森林學研究所博士論文。173頁。
- 馮豐隆、李宣德（2000）林木位置圖之製作與應用。林業研究季刊 22(2):61-72。
- 馮豐隆、楊榮啓（1990）史納德、柴普曼—理查梓生長函數式在林木各性態值生長上之應用。國立台灣大學農學院研究報告 30(1)：51-63。

表 1. 不同孔隙大小在不同林齡時，其單株林木的 Schnute 生長曲線之參數值及導出參數
 Table 1. The parameters and derived parameters of Schnute individual tree growth curve in different ages with different gaps.

Parameter NO	Parameter of Schnute growth								
	T	W ₁	W ₂	r	s	T _s	W _∞	T ₀	W _s
2_40	58	0	31.89	0.24	0.28	6.39	31.8891	1.00	1.8986
	32	0	31.08	0.23	0.28	6.39	31.1529	1.00	1.8964
	26	0	31.08	0.23	0.29	6.38	31.4380	1.00	1.9451
	15	0	26.85	0.24	0.28	6.30	30.3675	1.00	1.8560
2_84	58	0	34.49	0.08	0.76	4.29	34.9317	1.00	3.5615
	32	0	27.95	0.18	0.37	6.44	28.2133	1.00	2.1708
	26	0	26.92	0.20	0.34	6.48	27.4950	1.00	2.0318
	15	0	22.18	0.27	0.24	6.38	24.5764	0.99	1.6362
3_155	58	0	31.24	0.09	0.65	5.63	31.4725	1.00	3.2882
	31	0	27.33	0.14	0.47	6.51	28.3024	1.00	2.5511
	26	0	25.90	0.15	0.44	6.54	27.4374	1.00	2.4124
	15	0	19.86	0.20	0.35	6.41	24.1059	1.00	1.9734
3_162	58	0	42.88	0.06	0.75	6.14	45.2139	1.00	4.3620
	31	0	32.15	0.12	0.44	7.67	34.1019	1.00	2.6619
	26	0	29.69	0.14	0.40	7.65	32.2209	1.00	2.4113
	15	0	20.66	0.24	0.24	6.93	23.8432	0.99	1.6166
5_102	58	0	34.53	0.04	1.23		37.8499	1.00	
	31	0	26.21	0.11	0.66	4.57	27.5498	1.00	3.0389
	26	0	24.69	0.13	0.58	5.07	26.2257	1.00	2.7862
	15	0	19.55	0.21	0.38	5.67	22.6244	1.00	2.0177

T=時間 Ts=達反曲點時間 Ws=達反曲點生長量
 W_∞=生長量最大量 (漸近線) T₀為與橫軸相交時的林齡

楊榮啓、馮豐隆 (1989) 史納德生長函數式在
 台灣人工林分結構分析上的應用。中華
 林學季刊 22(3) : 3-17。
 焦國模 (1970) 台大實驗林溪頭營林區航空判
 識用柳杉區域性材積表之編制。中華林學
 季刊 3(4) : 107-130。
 Feng, F. L. (1997) Modelling stand growth varies
 in response to different spacing quant. Journ
 Exp For Nat, Taiwan University,

11(2):111-123.
 Schnute J. (1981) A Versatile Growth Model with
 Statistically Stable Parameters. Can. J. Fish
 Aquat Sci. 38:1128-1140.
 Shugart H. H & West D.C. (1977) Development
 of an Appalachia Deciduous Forest
 Succession Model and its Application of the
 Impact of the Chestnut Blight Journal of
 Environmental Management 5,161-179.

六、附錄

1. 孔隙變遷圖

依次為密度 1000、2000、3000 及 5400 之孔隙變遷情形。

