

化樹為數—森林調查與測計的量化工作

李隆恩¹、陳涓婷¹、唐盛林¹、王韻皓¹、陳巧璋²

森林調查與測計

森林調查與測計是森林經營及林業研究的基礎，也是經營者與研究者瞭解森林的主要手段。為了方便掌握、描述以及利用數學的方式，對森林資源進行統計及規劃，研究者往往需將森林中的各種屬性與狀態以數量化的資料形式呈現，方得以進行後續分析。因此，森林調查與測計的工作重點，即在於取得與森林有關的量化資訊，使經營者藉此做出合理的判斷與決策，並有效地解決經營過程中所遭遇的問題。然而，礙於森林的廣袤及測量技術上的限制，進行全面的每木普查勢必費時費力又不具經濟效益，且現階段許多林木性態值，如立木材積及生物量(生物體之質量，一般以乾重計算)等，仍難以非破壞性的方式直接快速測量取得，因此在實務上，多以選取樣本的方式進行調查與推估。調查中常用的取樣方法有許多種，如簡單逢機取樣、分層取樣、系統取樣及雙重取樣等，然而不論何種方式，其使用的原則都是期望讓抽樣過程避免受外在因素影響，以保證樣本具有足夠的母體代表性。當透過適合的取樣方式抽取到樣本之後，再對樣本進行精確的性態值測計，搭配相應的統計模式即可將資訊推估至母體。然而，此種估算方式必定會產生誤差，為了確保所獲取的資訊具有一定的精確度，使得經營者足以做出正確的經營決策，各項統計檢定工作與模式使用上的限制及適用範圍就顯得相當重要。

未通過統計檢定的模式不具備參考價值，同樣地，將不適用的資料帶入模式中計算所得的結果，也將難以評估其誤差。

統計模式的分類與限制

林業研究中常使用的統計模式大致上可以分為兩大類，分別為機制模式與實證模式，前者是透過解析理論的方式，模擬影響林木發展過程的各項因子，再依邏輯推論其關係建構於模式中，例如生長可藉由光合作用同化率扣除呼吸作用異化率計算而得，而同化率與異化率則可透過模擬植物受降水、光照、溫度、氧氣與二氧化碳濃度等因素推算。實證模式則是藉由試驗設計或現況資料的收集，觀察數據間的現象關係，尋找適合的統計模式加以模擬。由於建構過程的差異，二種模式各有其優缺點與限制，機制模式考量發展過程中的各種因子，當環境發生改變時，模式亦能隨之因應。因此，機制模式的適用性較為廣泛，但也因需考慮的因子較多，所以在變數資料的取得上相對較為困難。反之，實證模式則可以在不瞭解機制的情況下，單純以數據間呈現的關係建立統計模式，但由於此種方式缺乏生物學上的意義，因此僅能在特定的範圍內使用，且當環境發生較大改變導致相對關係產生變化時，此類模式亦難以保持準確的模擬。

由統計學的理论可知，當使用實證模式進行推估時，僅能於建模資料的範圍內進行內插，外推所得結果的誤差將難以評估。實務

林業試驗所 • ¹森林經營組、²恆春研究中心

上，在多數情況下，研究中通常缺乏對於真實機制的充分瞭解，而影響機制的各項因子間的交互作用往往關係複雜。因此，過去研究者多以建立區域性實證模式的方式，進行小範圍內森林各種性態值的推估與預測。

林業研究中常用的模式

過去林業界常用的模式有許多種，若以森林的不同層級作為劃分，大致可分為單木、林分與森林等3個層級。單木層級中，較常使用的模式包括與林齡相關的單木生長模式，以及運用相對生長(Allometry)法則解釋林木性態值間相互關係的樹高曲線式、立木材積式與生物量推估式等模式。林分層級較常使用的模式則有利用林齡、地位及密度進行收穫預測的全林分收穫模式，以及利用直徑分布法(機率密度函數)推估各直徑階材積的林分直徑級模式。在森林層級中，常使用的模式包括以航空測量影像為基礎，配合雙重取樣法進行蓄積量推估的模式，以及利用光達點雲資料求取樹冠高程模型或進行樹高判定的森林蓄積量推估模式。

森林測計實例解析

一般來說，在傳統森林測計領域中，胸徑是一個相當重要的林木性態值，由於其測量相對簡單便利且精度較高，同時胸徑與林木其它重要性態值間，如樹高、材積、生物量等，皆具有相當高的相關性。因此，在立木測計時常以胸徑作為解釋變數建模以推估其它性態值。此外，透過林分中各林木胸徑值的分布型態，亦可分析不同徑級林木占林分蓄積量或生物量的比例，進而協助經營者瞭解林分整體的生長狀態與結構。為了使讀

者更容易瞭解研究者如何利用森林調查及統計模式推估森林資訊，本文以本所六龜試驗林第12林班之臺灣杉人工林為例，展示如何利用單木層級的立木材積式，配合林分層級的直徑級模式，完成林分蓄積量的推估。

由於樹木主幹並非標準的圓柱或圓錐體，因此需要利用區分求積法將該區域的伐倒木主幹區分為各種不同形狀的截面立體，分別計算體積後加總成立木材積，再結合胸徑與樹高變數配適立木材積式，以獲得單木材積的推估模式。在森林調查實務上，若無法取得材積式時，多以胸高形數的方法推估材積，胸高形數是立木材積與以胸高斷面積為底面積並以樹高為高的圓柱體體積的比值，運用胸高形數亦可簡單以胸徑及樹高資料粗估立木材積。為了瞭解配適模式的誤差大小，本文將材積式的推估結果與現行林業管理單位常用以平均形數0.45(參考行政院農業委員會辦理國有林林產物處分作業要點第6點第3項第2款)所估算之材積進行誤差量比較。由圖1結果可看出，以平均形數0.45推算的材積有明顯的高估情形，且誤差量會隨著材積量的增加而擴大。反之，區域性實證模式所配適出的材積式則較能進行準確的推測。

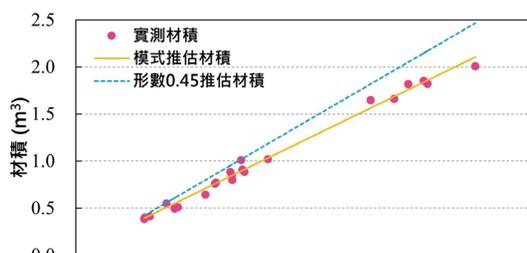


圖1 以實證模式及利用平均形數0.45分別推算材積，由結果可看出平均形數的推估方式會產生明顯的高估。(李隆恩繪)

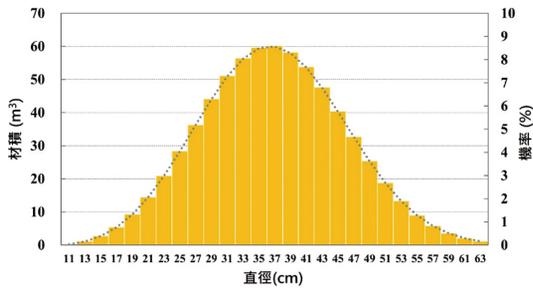


圖2 運用機率密度函數建構林分中樹木直徑的分布型態，可配合單木材積式求得林分的整體蓄積量。(李隆恩 繪)

當單株的測計作業完成後，經營者或研究人員常需要進一步瞭解該林分的整體蓄積量，蓄積量指的是林分面積上生長的單木材積總量，可反映出該林分的資源總規模，因此是林分與森林層級的重要指標之一，通常可利用林分直徑級模式加以推估。林分直徑級模式是以機率密度函數的方式，描繪林分中直徑的分布型態，過去已有許多研究者利用各種函數模擬林分中的直徑分布，其中Weibull機率密度函數的運用範圍較廣且效果良好，頗受研究者青睞。Weibull函數屬於連續性機率分布模型的一種，可用於計算變數在一指定區域內的期望機率值，亦即各胸徑級的樹木在林分中出現的機率。當模式建構完成後，將該機率值乘以林分密度，即可推估出林分中各直徑級樹木的理論株數，再結合單木層級中配適的材積式，就可利用加總或積分的方式推算出林分蓄積量(圖2)。

森林調查技術的未來展望

隨著科技的進步，森林調查的方式與技術也有著長足的進展。近年來，光達掃描技術在林業中的應用已逐漸成熟，因光達掃描技術具有較精確的三維座標測量與空間建



圖3 光達掃描技術具有較精確的三維測量與空間建構能力，可取得高精度的林木性態值資訊。(陳清婷 繪)



圖4 運用光達掃描技術可一次性地取得胸徑、樹高、樹冠幅與立木位置等多種森林資訊。(李隆恩 攝)

構能力(圖3)，且可一次性地獲取如胸徑、樹高、冠幅與立木位置等多種資訊(圖4)，使得調查作業在精度與效率上有著大幅度的提升。此外，有賴於遙感探測、空載光達與資訊處理技術的進步，現階段的森林調查，不僅能自空中取得大範圍且高精度的森林資訊，也較過去傳統測量要更加便利。此特點勢必將改變過去林業研究中以胸徑為主要建模變數的現象，同時也將產生新一輪的模式需求。未來，如何提升遙航測調查技術並結合光達點雲資料提高森林性態值的推估精度，將成為林業調查人員的重要工作。⊗