

智慧林業造林經營

文、圖／陳朝圳（通訊作者 | 國立屏東科技大學森林系榮譽教授）

彭炳勳（林業試驗所森林經營組助理研究員）

陳建璋（國立屏東科技大學森林系教授）

蔡佳彬（林業試驗所中埔研究中心副研究員兼主任）

魏浚紘（國立屏東科技大學森林系助理教授）

廖和順（林業試驗所森林經營組技工）

羅卓昱（林業試驗所森林經營組技工）

以地面雷射掃瞄系統（Terrestrial Laser Scanner, TLS）、或稱地面光達，來掃瞄林地現場實景，透過可視化之三維坐標點雲（Point Clouds）影像，可應用於森林經營上，相關研究證明了 TLS 對森林經營與監測資料的取得，能以非破壞的方式，獲取森林經營所必備的林木資訊，包括立木位置、單木胸徑、樹高、冠幅等資料，且可模擬樹幹解析測量圓盤直徑，例如準確的 DBH（Diameter at Breast Height）與立木位置量測，進行全株材積計算，增進地上生物量的估計精度，另可配合 Weibull 機率密度函數，模擬林分徑級分布的狀態，可進行疏伐保留木的生長監測，以立木位置及胸徑資訊，則可計算林木競爭指數；如配合地理資訊系統的空間分析，可將林分性態加以量化及空間化，讓經營者更能掌握林地及林分現況，而其應用包括立木單株建模、棲息地評估、植被類型演替等。由前人研究顯示 TLS 對於單木及林分量測所得資料，對於林分經營及生態之後續研

究具有其潛力（詹于萱，2019、魏浚紘，2014、魏浚紘等，2013; Ashcroft *et al.*, 2014; Calders *et al.*, 2015; Cuni-Sanchez *et al.*, 2016; Gonzalez de Tanago *et al.*, 2018; Hopkinson *et al.*, 2004; Hopkinson *et al.*, 2004; Jupp *et al.*, 2009; Lau *et al.*, 2018; Liang *et al.*, 2014; Lovell *et al.*, 2003; Maas *et al.*, 2008; Momo Takoudjou *et al.*, 2018; Oveland *et al.*, 2018; Palace *et al.*, 2016; Strahler *et al.*, 2008; Thies *et al.*, 2004; Valbuena *et al.*, 2020）。

本文以雲林古坑地區 10 年生（2012 年栽植）的桃花心木私有林，其造林面積約有 2.5 ha 為範圍，為協助該林分第 1 次疏伐的進行，經現場勘查後，規劃其中 0.3 ha 進行疏伐作業的模擬示範（圖 1、圖 2），調查過程中導入 TLS 技術，進行 0.3 ha 的全區掃描拍攝，其調查作業可提供三維資訊，相對於傳統的調查方法，其對於該林分的經營活動可提供更為精確及有效的經營資訊。



圖 1 雲林古坑的桃花心木私人人工林造林地

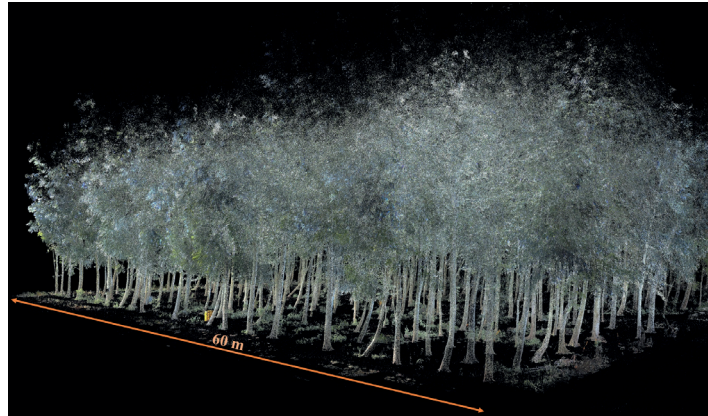


圖 2 立體點雲影像側視圖

建構林木生長與空間資訊

在一般常用的調查中，調查人員利用胸徑尺於立木胸高處測量其圓盤直徑並非難事，但當需要繪製現場的立木位置時，需要拉出方正邊框，進行 X Y 軸的量測紀錄，或者利用皮尺、羅盤儀、雷射測距儀、全測站經緯儀等量測儀器，進行方位角、直線距離的量測，測量時如果有視線阻礙必須要移動觀測站位置，過程耗時，多次移動會產生累計誤差，其調查成本高及精度無法掌握，是傳統測計方法所面臨的問題。

本次調查完成 TLS 掃描拍攝後，透過點雲資料分析軟體 (Lidar360)，可直接於電腦螢幕，進行全區 DBH、樹高、樹冠幅的測量，其中 DBH 的測量概念如圖 3。為確定量測結果，本研究進行了 DBH 項目的自動量測與現地量測數據的比較，以相關分析結果顯示兩者具有 45 度角的直線關係 (圖 4)， R^2 為 0.98，顯示自動測量與現地測量之差異相當小；而由圖 4 可知，部

分數據出現較大的差異，是因為現場調查時，如果胸高處有萌蘗、分岔、異常膨大時，會上下移動尋找適合測量直徑的位置；而在軟體分析時為了達到一致的標準，均以離地高 1.3 m 為測量位置，所以造成了較大的誤差，目前整體而言測量結果仍具有一定的準確性。

經過 TLS 製作本範圍的立木位置圖後，經研究人員的現場檢核，配合 DBH 資料，可供地主按照圖面瞭解當前造林現場的胸徑大小、相對位置與整體林木之徑級分布情形，其資訊可應用於單木 DBH 的生長監測，掌握相對生長量變化，適時進行第 2 次的疏伐，幫助地主進行森林經營管理。

疏伐方案選定與林相模擬

疏伐的目的在於降低林分密度，幫助留存木生長發育，有關疏伐的優點與選木方式可參考相關書籍手冊 (例如：《育林手冊》、《人工林疏伐實務手冊》)，假設當前森林經營的主要目的是在永續經營

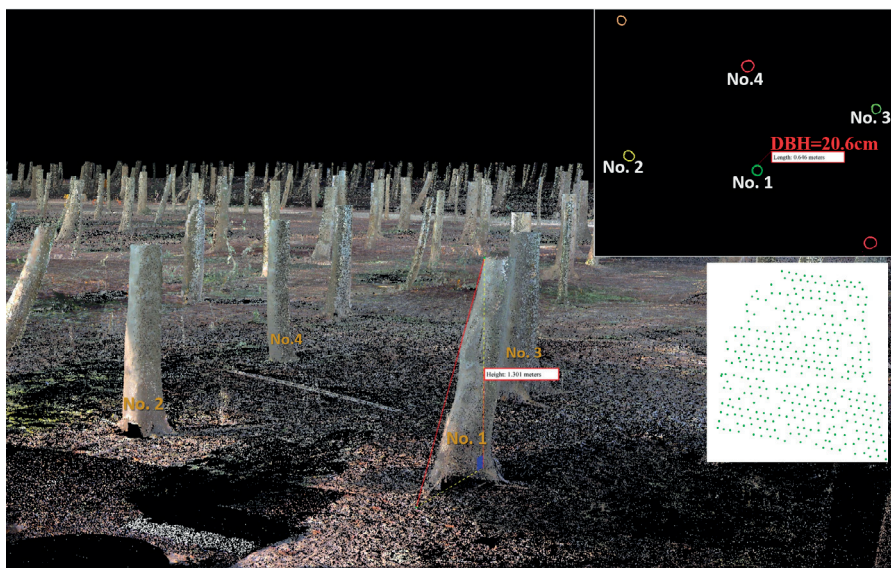


圖 3 點雲資料建置完成後，可產製立木位置，透過不同方式觀察造林地，取任意樹高位置進行人工及自動化量測，例如 DBH。

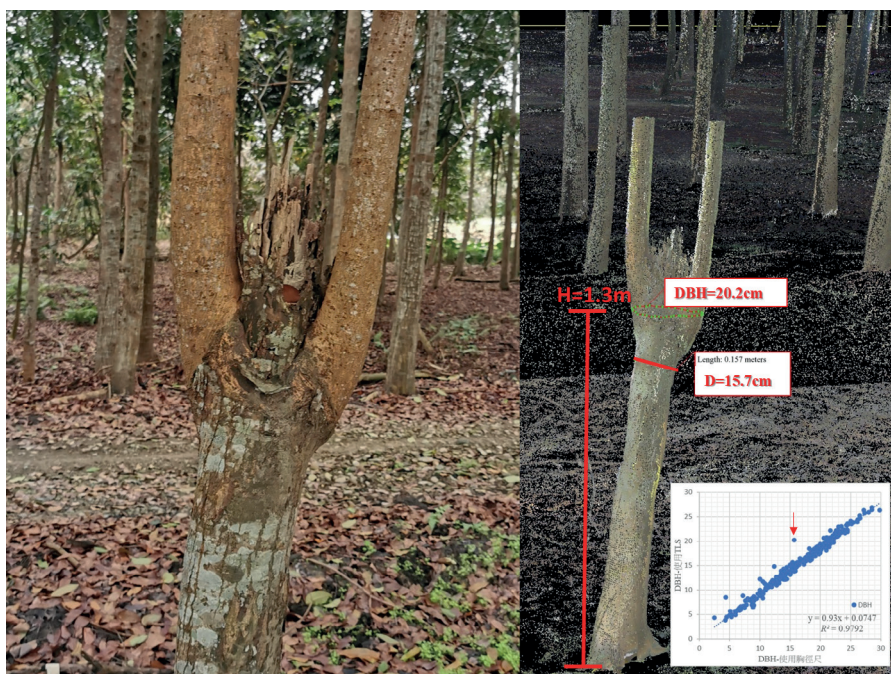


圖 4 主幹胸高處斷裂、腐朽、2 岔，直徑為 20.2cm，現場調查時的測量位置下移，造成數據誤差。

的基礎上，提高林木的生長量時，則改進林木的形質、建構合理林分結構，可以提高人工林生產力，此時控制林分密度成為

經營過程中的必要手段，其中又以疏伐調整林分密度為最常見的方法，在進行疏伐規劃時，常以單位面積內的株數、胸高斷

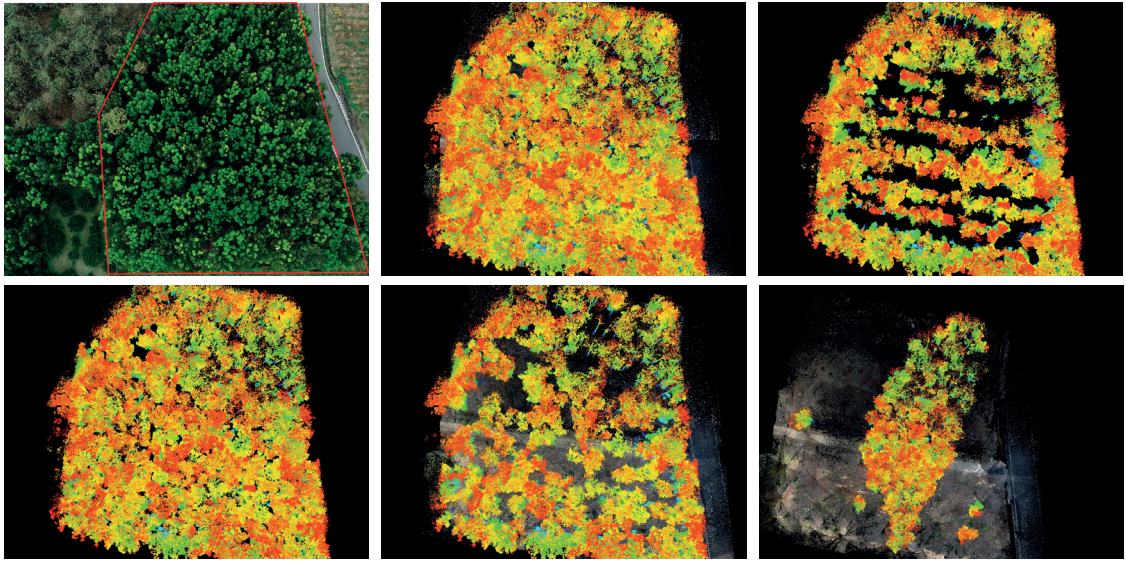


圖 5 造林地空拍及點雲俯視圖，可觀察現況、行列疏伐、下層疏伐對於樹冠覆蓋的效果，或用於地景創作的視覺模擬。

面積或蓄積量為標準進行規劃，當投射到現場實際作業時，為了避免部分區域出現孔隙分布不均勻、地面留存數量不足、株距調整不足等問題，需要在現場透過經驗進行調整，或者返回規劃階段，重新檢視執行內容，其過程會增加作業成本，效力不佳是實際進行疏伐作業時所面臨的問題。

本次案例利用 TLS 技術，將古坑造林地的林分掃描資料帶回室內，利用原始點雲資料，經過編輯、分離、重組的資料處理，產生單木點雲資料，利用 Lidar 360 分析軟體可進行 DBH 量測、主幹型態評估、立木位置製圖，並可進行不同方式的疏伐前後之林相模擬（圖 5），其目的在於疏伐前不論是採用行列疏伐、下層疏伐、未來木選取，或者森林地景營造，都能透過電腦模擬，預判伐後孔隙是否足夠、造林木調整間距是否得宜、有無達到釋放生育空間與減緩競爭壓力、進行規劃可行性評估及驗收執行成果等。

森林經營規劃的目的是以森林資源為對象，進行合理的時空布局的森林經營活動規劃，以達到經營者所設定的經營目標（陳朝圳、陳建璋，2015）。由於 TLS 可以提供樹木的各種結構屬性與相對關係，3D 測量能夠建構立體的物件，實務上能應用於單木測計、樹木形態和功能研究、空間關係探討如結構多樣性、樹冠競爭等，在傳統的調查過程中要取得相同的資訊量並不容易；此外，造林現場經過數位化，借助資料倉儲可以整合歷史資料與持續擴充新增資料的能力，以及地理資訊系統整合空間資訊及協助解決真實世界問題的能力，進行 TLS 同期不同地點，或多期重複掃描後，有機會進行空間變化的結構分析與功能研究，數位化的資訊或許能引起其他領域專家的共鳴，進行跨領域的林業研究。🌲

（參考文獻請逕洽作者）