

空載光達初探香杉盜伐跡地



文、圖／徐嘉君（農業部林業試驗所副研究員）

王驥魁（國立成功大學測量及空間資訊學系教授）

李崇誠（國立成功大學測量及空間資訊學系博士後助理研究員）

日治時代的植物學家早田文藏發表了許多臺灣的植物新物種，在他所偏好的松柏科植物裡，臺灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*) 與巒大杉 (*Cunninghamia konishii*) 是其中最重視的 2 種珍貴樹種，並於 1909 年發表的「臺灣產新植物」一書中，強調是為本世紀植物史上的重大發現。

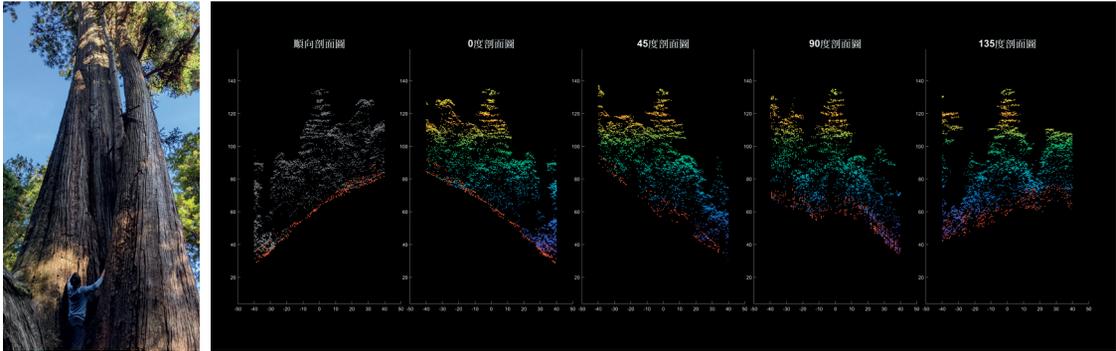
臺灣原生特有樹種的盜伐危機

臺灣杉與巒大杉都是臺灣原生特有樹種，因為木材性質優異，被列為針一級木，與臺灣扁柏、紅檜、臺灣肖楠並列為臺灣針五木，經濟價值高，為林業主要經營的對象。本文所著墨的巒大杉，因木材本身具有香氣，又名香杉（英文俗名 *Lunta fir*），是由臺灣總督府殖產局的小西成章技師，於 1907 年 5 月在巒大山海拔 2,100 公尺處首次採集，並將標本寄送給東京帝大的早田文藏。早田文藏於 1908 年來臺灣時，也在巒大山親自拍攝到這種針葉樹巨木的照片，並以小西氏為名，發表在當年度的 *The Gardeners' Chronicle* 期刊 (*Gard. Chron.*, ser. 3, 43: 194., 1908)。

香杉是臺灣特有種，根據林業及自然保育署網站的資訊，主要分布於臺灣中部、北部及東北部，原生於海拔 1,300 至 2,800

公尺山區的針闊葉混合林中，也是海拔 500 到 1,800 公尺暖溫帶氣候區常見的造林樹種。香杉分布地除在南投縣，還有宜蘭縣太平山、棲蘭山、花蓮碧綠、苗栗縣中雪山、臺中思源、達見、八仙山等地，中橫公路的碧綠神木就是一株容易親近的香杉巨木。

香杉與中國原生的福州杉 (*Cunninghamia lanceolata*) 在形態上十分接近。香杉的樹皮呈淡紅褐色，針葉線形略呈鐮狀彎曲，葉螺旋狀密生扭成二列，長度 1.2 – 2.5 公分，表面有白粉，兩面皆有氣孔帶；與福州杉最大的分別是葉片前端無骨質化鋒針，在枝條上排列參差不成兩縱列，葉片質軟觸摸起來較不刺手。根據 2004 年的研究 (Chung et al., 2004)，分析採樣自臺灣的 11 個香杉族群，與中國 10 個福州杉族群基因上的差異，發現福州杉與香杉間的種間基因差異甚至小於臺灣原生香杉族群間的差異。研究結果顯示，臺灣的香杉族群在冰河時期經歷過多次 (6 次) 的遷移事件，由亞洲大陸來到臺灣，尤其是南投的香杉族群，與許多其他植物物種一樣，表現出較高的族群間基因變異，是非常值得玩味的研究課題，推測可能是因為臺灣的地形陡峭，香杉族群間的基因交流不易，也有可能是自日治時期長期受到伐木的壓力，香杉族群分布破碎化所致。



■ 臺灣巨木地圖裡也有偵測到超過 65 公尺高的香杉巨木，圖為大雪山林道山區的香杉巨木與光達剖面圖。

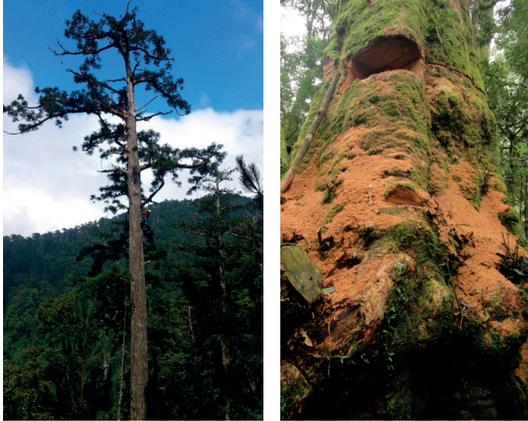
香杉是常綠且長壽的大喬木，可以成長為不輸臺灣杉的巨木，林業試驗所攀樹團隊目前攀樹量測過的香杉最高有 68 公尺，而臺灣巨木地圖裡，成功大學測量團隊利用空載光達資料，也偵測到幾株高度超過 65 公尺的香杉巨木。理論上，在 1991 年臺灣全面禁伐天然林以後，原生香杉巨木族群應該是處於相對安全的狀態，畢竟要運出原木，需要有便捷的林道與大型的運輸器械，但香杉巨木的命運比較乖舛，在近十數年來仍然受到極大的盜伐壓力，導致在臺灣紅皮書被列為易危 (NVU)，國際自然保護聯盟 (IUCN) 也列級為瀕危 (EN) 樹種。

人類利益衝突與樹木保育

盜伐嚴重源於長在香杉老齡巨木上的一種真菌香杉芝 (*Taiwanofungus salmoneus*) 所致，香杉芝與牛樟芝 (*Taiwanofungus camphoratus*) 都是長在臺灣特有樹木上的特有真菌，前者長在香杉上，後者長在牛樟 (*Cinnamomum kanehirai*) 上。牛樟芝的醫療功效，在民間流傳已久，但直到 1990 年代，這個真菌才被學界描述發表 (Zang

and Su, 1990; Chang and Chou, 1995)，而香杉芝據說有與牛樟芝類似的功效，則在 2004 年被發表 (Chang and Chou, 2004)。這 2 種真菌經分子序列分析，與原先發表的屬 *Antrodia* 親緣性甚遠，因而成立一新屬—台芝屬 (*Taiwanofungus*) 合併之 (Wu et al., 2004)。

香杉芝與牛樟芝皆腐生於其宿主老樹的中空樹幹之中，這類真菌雖然會加速巨木的木質部腐朽分解，但事實上並不會對巨木的生存造成太大的威脅，因為樹木的養分與水分運輸主要還是利用外部的韌皮部組織。然而，由於這 2 種真菌在民間保健食品受歡迎的程度，加上其對寄主的專一性，也就是只生長在 2 種特定樹種，且生長緩慢，不易以人工方式栽培出子實體，導致奇貨可居，進而造成山林中的大量盜伐濫採事件，主要生長在臺灣南部山區牛樟巨木已經所剩無幾，中低海拔山區常見被挖洞採芝的牛樟樹幹，甚或整株被伐倒，採芝人會定期進入山中收成，但野生的牛樟芝畢竟越來越稀少，當香杉芝在 21 世紀初被發現與牛樟芝具有類似的醫療保健功效，且經學界大量研究之後，香杉遂成為下一個受威脅的目標。



■ 香杉老齡巨木的樹型通常是枝條很少，枝下高很高。

■ 大鬼湖山區被開洞取芝的牛樟樹



■ 尖石鄉山區被整株伐倒的香杉巨木，直徑將近 4 公尺。（李香秀提供）

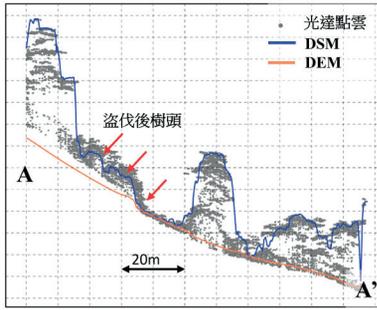
香杉被盜伐的形式與其他珍貴樹種不同，譬如說近年來檜木被盜伐通常是採取過去伐木時代的樹頭，切割成小塊用人力搬運出來，做為雕刻材等等，或是採取樹瘤作為藝品展示，也因此這類的盜伐事件多半鄰近山區道路，以運輸便利做為考量。香杉的盜伐形式與牛樟比較類似，盜伐者的目標不是香杉的木材，而是價高輕小的香杉芝，所以交通方便、鄰近山區道路並非優先考量，反而是夠大的樹木個體，因而能有中空的樹心讓香杉芝腐生才是重點，也因此許多香杉盜伐的跡地都發生在林業管理人員巡視不易的偏遠山區。

據筆者瞭解，香杉芝的買賣甚至有所謂「契作」的模式，也就是熟悉山區香杉原始林的「田野工作人員」，在發現目標森林後，至平地尋找買家「集資」，由買家提供機具設備和工資，讓現場工作人員去「處理」香杉巨木，採集香杉芝，其後

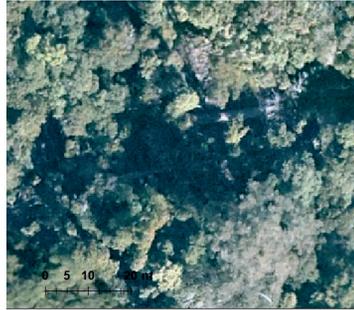
並定期訪視與收成香杉芝。筆者的找樹團隊在這幾年的巨木地圖計畫田野調查工作之中，也見識到幾次大面積香杉原始林被盜伐的跡地現場，尤其是去尋找尖石鄉的風之巨木時，所經過的香杉盜伐跡地最為慘烈，現場甚至有直徑將近 4 公尺的香杉巨木被伐倒。初步觀察被盜伐的香杉皆是直徑超過 1 公尺的大樹，受害面積很難預估，但根據筆者團隊經過路線所觀察到的倒木，估計超過 50 株以上。

防堵盜伐準備

因此找樹團隊開始思考，或許能藉由空載光達（ALS, Airborne Laser Scanner）技術來量測森林受害的面積。空載光達具有短時間獲取大面積空間資訊的能力，以雷射測距的原理精準測量地形的變化，亦能獲得森林中的垂直結構。空載光達其雷射脈衝能「穿透」樹冠層到達森林地表層，雷射最先接觸地物的回波稱為第一回波（first echo），大多位於森林樹冠層，並記錄成光達點雲資料，當雷射繼續穿透森林到達地表時，回波訊號稱為最後回波（last echo）。其中，數值表面模型（DSM, Digital Surface Model）是使用第一回波的點雲內插成為網格資料，數值高程模型（DEM, Digital Elevation Model）是使用森林地表的點雲內插成為網格資料，而正規化數值表面模型（nDSM, normalized Digital Surface Model）是由 DSM 減 DEM 資料而得，nDSM 能代表森林的高度，該先進技術已經被應用於測量森林孔隙（forest canopy gaps）、樹木高度與樹冠幅大小等資訊。



光達點雲的垂直剖面顯示出被盜伐過香杉的林間空地，紅色箭頭處為香杉樹頭。



2010 年拍攝光達時的航照圖，可明顯看到被伐倒的香杉巨木。

除了風之巨木的探查路線上所發現的香杉盜伐跡地，找樹團隊還標定了桃山神木以及大安溪倚天劍周邊的香杉盜伐地點，希望藉由光達影像，來觀察經盜伐過後的森林與原始林的差異，試圖利用光達影像來量測受害森林的面積。首先，我們利用 nDSM 探查這些被盜伐的香杉巨木，是何時被盜伐的？根據內政部的光達資料顯示，風之巨木附近的香杉盜伐事件是在 2010 年第一期光達拍攝之前就發生了，光達的垂直剖面顯示出被盜伐的香杉樹頭，拍攝光達時的正射影像（解析度 0.25m）也顯示出倒下的巨木，由於香杉芝風行之時為西元 2000 年前後，推測盜伐事件很可能是發生在當時。

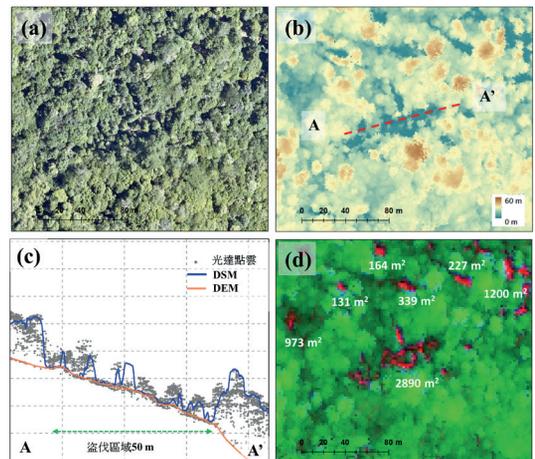
航照監測與保護來助力

最後，我們藉由風之巨木盜伐區來解釋如何量測森林受害的面積，當利用航空照片在觀察盜伐區域時，會受到陰影遮蔽和地表綠色植生的覆蓋，難以尋找到正確的盜伐區，空載光達產製的 nDSM 能成功尋找出盜伐造成的森林孔隙（圖 b 藍色區域），光達點雲也能明顯看到該盜伐區域（圖 c）。另外，為了增揚森林孔隙，找樹團隊

將雷射穿透指標（laser penetration index）、nDSM 與地表粗糙度等 3 種光達指標套疊成的假色影像（pseudocolor image），能觀察到紅色條狀的森林孔隙（圖 d），推測很可能是因為巨木倒下時，所破壞的森林樹冠

層，並且該區域被盜伐的最大面積為 2,890 平方公尺，最小面積為 131 平方公尺，總面積為 5,924 平方公尺；如果未來能藉由更多的盜伐跡地，歸納香杉盜伐過後原始林的特徵，或許我們之後能夠藉由這些特徵指認更多尚未發現的香杉盜伐跡地。此外，在香杉盜伐跡地中，仍有許多中型的珍貴健康香杉，需要我們進一步保護與監測，未來若能利用無人載具空載光達，定期協助量測香杉巨木受害面積，或許可以防堵可能的盜伐事件再次發生。

（參考文獻請逕洽作者）



利用雷射光穿透率、nDSM 以及地表粗糙度所產製的假色影像，能觀察到盜伐跡地有紅色條狀孔隙。