林業試驗所森林動態樣區資料與長期研究成果

蘇聲欣[1]

前言

森林是一個複雜、多元的生態系統，因此森林學及森林生態學必須仰賴長期、大量的調查資料，用以分析森林與樹木的現象格局(pattern)，並進一步推論其背後的自然運行過程(process)。對於物種龐雜、環境異質性高的熱帶及亞熱帶天然林，這樣的研究資料尤其重要。但是很多地區至今累積的資料，無論在質與量上仍不足以回答許多重要的研究課題。

過去，臺灣林業相關單位的天然林調查工作大多是以分散、小面積、非永久性的方法來進行，調查的主要目的為描述森林組成、估算森林蓄積與生長。直至1980年代末到1990年代初期，學界才開始設置面積大於1公頃的永久樣區(permanent plot)，嘗試以較為大量、詳細的調查數據來探討更深入的森林生態現象(陳子英，1993；謝宗欣，2006)。此時，學界也開始導入國外「森林動態樣區#」的調查方法與重要之研究課題，並在國內逐漸擴大這類樣區的設置數目與規模(謝宗欣，2006；孫義方，2015)。

林業試驗所參與執行並維護管理臺灣面積最大的3個森林動態樣區，地點分別位在北、中、南部地區：福山(25公頃)、蓮華池(25公頃)、墾丁(10公頃；玉山國家公園的楠梓仙溪樣區同樣也是10公頃)。目前本所已整合三樣區的調查資料，建置完成可供研究及教學人員使用的資料集，存放於本所研究資料目錄(https://metacat.tfri.gov.tw/tfri/；可用"forest dynamics plot"關鍵詞查詢)。本文將介紹這些資料集的內容，同時也回顧三樣區歷年來所累積的研究成果。

森林動態樣區資料集

本所目前管理的森林動態樣區資料包括福山樣區第一次(2003~2004)與第二次(2008~2009)調查成果、蓮華池第一次(2007~2008)調查成果，以及墾丁樣區第一次(1996~2001)、第二

什麼是「森林動態樣區」?

森林動態樣區(forest dynamics plot)，是由美國史密斯森熱帶研究所(Smithsonian Tropical Research Institute)之下的CTFS-ForestGEO全球森林觀測網所發展出來的森林長期生態研究方法。其原理就是設置大型的森林永久樣區，並且以定期、詳細、統一的調查方法來進行樣區的每木調查(tree census)。這項研究工作自1981年建立第一個樣區起，目前已在全球27個國家合作設置了67個樣區，共同監測約12,000種、600萬株樹木的變化(圖1)。有關於林試所各樣區的設置背景、調查細節、森林組成與特色等，本所已有出版專書提供詳細介紹(Su et al. 2007；伍淑惠等，2011；張勵婉等，2012)。

[1] 林業試驗所・森林經營組

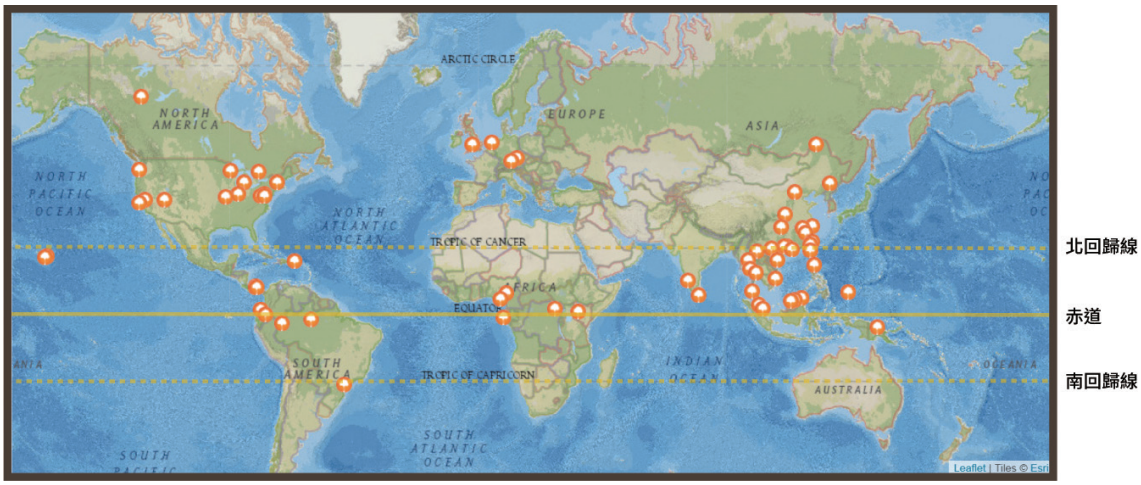

圖1 CTFS-ForestGEO全球森林觀測網。目前共有67處樣區，遍及熱帶、亞熱帶、溫帶、寒帶森林地區(修改自圖片來源：https://forestgeo.si.edu)。

次(2008)調查成果。各樣區分別建置為獨立的資料集，但是均採用一致的資料庫格式、欄位定義，以及依據相同的樹種學名資料來源。

森林動態樣區的核心資料除了定期完成的每木調查成果外(基本為每5年調查一次)，還有樣區最初設立時進行精密測量作業所獲得的地形資料(圖2)。這項工作通常是使用具有電子測距功能的全站式經緯儀(total station theodolite)進行山區測量作業。首先將樣區範圍規劃為一個網格狀區域(grid system)，再至現地逐一將每一個網格——我們稱之為「樣方」(quadrat)，進行測量放樣，設立固定樁點。所得到的資料內容則為所有樁點的三維相對座標資料(x, y, z)，其中的z座標再輔以控制點的GPS定位資料，即可推算出全區的海拔高程變化。須注意的是，福山、蓮華池樣區都是依循CTFS-ForestGEO的一般規格，以20 × 20 m大小的樣方為基本單位，而墾丁樣區因為高位珊瑚礁地形極為險峻，因此採用較小的10 × 10 m為樣方單位。

樣區的每木調查資料包含了所有胸高直徑(DBH) ≥ 1 cm之樹木的植株編號(tagging)、

圖2 森林動態樣區的核心調查工作——地形精密測量作業(左)，以及調查所有胸高直徑 ≥ 1 cm的樹木(右)。

樹種鑑定(identification)、DBH測量(measurement)、相對位置繪圖(mapping)之成果數據。自樣區的第二次每木調查起(以下簡稱為「複查」)，調查工作會開始記錄樹木的生存狀態(status)，區分為死亡(dead)、未尋獲(missing)、斷枝(broken stem)、新增(recruited)等狀態，以分析樹木死亡率、新增率等族群統計參數(demographic rate)。

每一個樣區的植株編號規則略有不同，但相同的是每一個號碼只會給予一株樹，等

同於這棵樹的身分證字號，絕不重複。樹種的學名原則上依照*Flora of Taiwan*第二版，除了少數是參考較新的分類處理文獻。DBH的測量是以一長度1.3 m的桿子做為標準，倚靠於待測樹木上以判斷「自地面算起1.3 m長度」的位置，並以油漆標記為測量點(point of measurement; POM)。這樣測量方式可因應傾斜地形或是當樹木呈現非直立生長的情況，取得統一的POM基準。此外，POM還應避開樹幹表面不平整、不正常膨大或緊縮的位置，若在無可避免的情形下測量時，則會在資料上以特殊代碼(code)標註並在備註欄(note)說明情形。在往後的複查中，如果遇到必須更換POM的情況(例如：原POM有缺損或不正常生長情形)，也會給予代碼註明。

森林動態樣區的一大特色是它提供了樹木的空間位置資料，使得研究人員得以分析樹木空間分布現象、植物多樣性的空間特性、鄰樹效應(neighborhood effect)等，並且可以發展以個體為單元的統計模型(individual-based model)。這些空間位置資料的現場調查方式是先將每一個樣方劃分成5 × 5 m的小樣方，調查人員就在小樣方內逐一調查樹木並以目測方式繪製出樹木的相對位置圖，而後逐一完成每一個小樣方乃至於每一個樣方的調查。這樣的目測方式雖然無法得到精準的空間位置資料，但是可以將誤差有效地控制在5 × 5 m的範圍內，而且得以較快速地完成大面積的每木調查工作。依照福山樣區的工作經驗，經過訓練的調查人員可以將繪圖誤差控制在大約0~2 m。

此外，墾丁樣區的白榕、正榕因為具有特殊的「支柱根生長」現象，難以用一般樹木的調查方式來區分出主幹、分枝。因此從第二次調查開始，這兩個樹種是另由專責的調查小隊負責，將每一個DBH ≥ 5 cm的支柱根皆測量DBH並記錄空間位置，所得資料也另存於不同的資料表。

每木調查所得到的紙本紀錄，後續交付給兩名不同人員進行「雙重輸入」(double entry)作業，輸入至電腦；再撰寫程式進行比對、校正，必要時再重回樣區現場確認，以如此嚴謹流程完成調查紀錄的資料數化作業。樹木的相對位置圖同樣也以電腦點圖程式予以數化，並經過第二人檢查。此外，本所更進一步將三樣區的資料整合，採用一致的欄位定義(除了墾丁樣區的部分欄位)、樹種學名資料，並予以正規化成關聯式資料庫(圖3)。須特別留意的是，由於每木調查的基本測量、記錄單元是所有DBH ≥ 1 cm的主幹及分枝(合稱為「枝幹」(stems))，因此資料表的資料基本單元並非植株(individual)，而是枝幹，並以「植株編號.分枝編號」的連綴號碼做為可資區分的索引欄位。

長期調查資料的重要性與成果

森林動態樣區的研究方法除了可提供大量且定期調查的每木資料外，不同樣區間均採行統一、標準的調查方式也有助於研究人員進行跨樣區乃至於全球性的研究課題。如此詳盡的樹木調查資料也吸引了昆蟲、動物、菌類等不同生物類群之研究人員參與，或是結合航遙測技術、發展創新統計方法，儼然成為跨領域合作的最佳研究平台。

回顧林試所樣區歷年來的研究產出數量，可知森林動態樣區的研究成果極為豐碩(圖4)。自1995年至2019年5月，總共發表SCI期刊論文52篇、EI期刊論文15篇、其他期刊

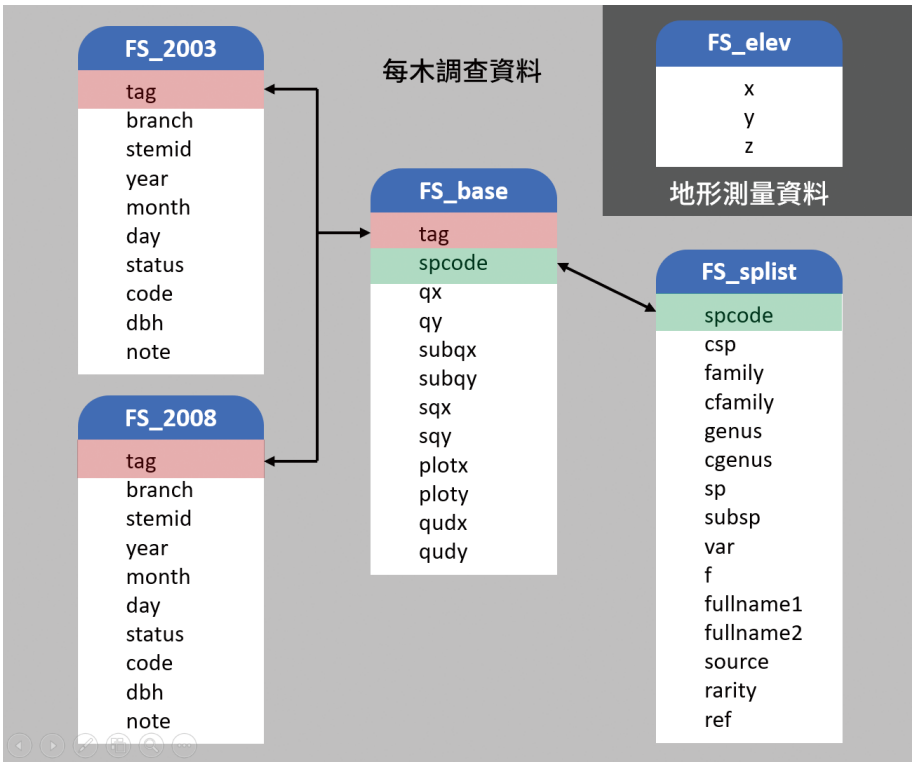

圖3 林試所森林動態樣區資料集內各項資料表之關聯圖。以福山樣區資料集(FS)為例，FS_elev是地形測量資料，FS_splist是樹種的學名資料，FS_base是樹木的空間位置資料，FS_2003、FS_2008則是歷次每木調查的成果資料。

論文8篇、碩博士論文38篇、其他書籍及科普性文章10篇。研究成果很明顯是以國際SCI期刊論文及碩博士論文為主要產出。前者主要得力於以如此樣區規模所收集到的大量數據較具有發表優勢，加上透過CTFS-ForestGEO得以與國外優秀學者合作，進行跨樣區乃至全球性的比較性研究，更有機會發表高影響力的期刊論文。後者則顯示出，在建立良好的研究基地與提供詳盡的每木調查資料之下，林試所樣區對於協助國內學界培養碩博士人才也做出相當貢獻。若從逐年的研究成果來看，明顯可見在福山、墾丁完成第二次調查之後，樣區的研究產出有實質的增長，特別是在SCI期刊論文的數量(2009年之後共計51篇) (圖4)。從各樣區的總發表量來看，具有2~3次調查資料的福山、墾丁樣區，其研究產出也較為突出(圖5)。綜合以上兩點可見，擁有較長期且大量的基礎調查資料有助於研究人員發表更多且更具有影響力的論文。

未來展望

回顧過往20多年來臺灣森林動態樣區的發展，其成果可謂豐碩。然而，相較於國外的樣區，臺灣每一個樣區的參與研究人員始終不多，所能獲得的公部門經費支持也未曾穩定。誠然這項研究工作是備極辛勞、耗費

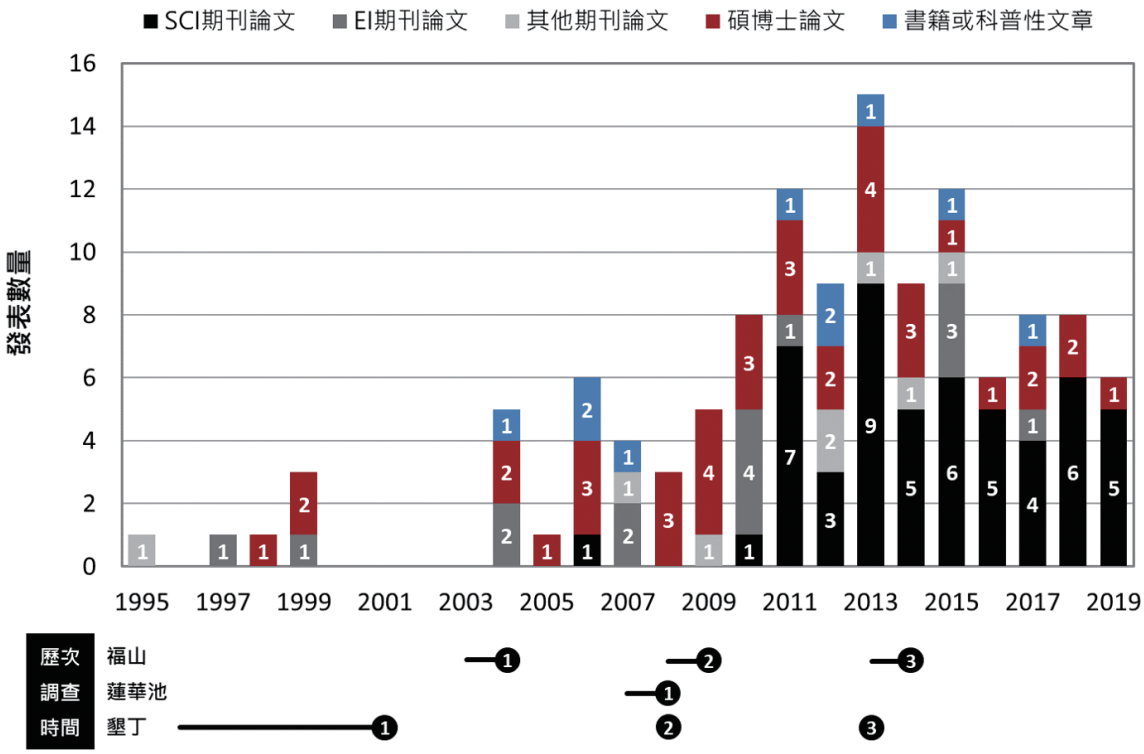

圖4 林試所森林動態樣區歷年來研究著作之統計(1995年–2019年5月)。下方標示出各樣區歷次調查之執行期間(圓點表示完成年度，圓點內數字表示調查次別)。

大量人力的基礎調查工作，然而從過去成果可知，森林動態樣區的基礎資料連同其發揮良好研究平台的功能已累積相當斐然的研究成果。而且長期投入研究的成效也不斷地在成長，特別是在擁有較長期資料、較多研究人員參與、試驗地研究基礎較完整的福山。以林試所這三個樣區的調查規模而言，未來仍須有公部門持續地挹注經費與人力，並結合學界的研究能量，方可持續這項極具意義與成效的長期研究工作。

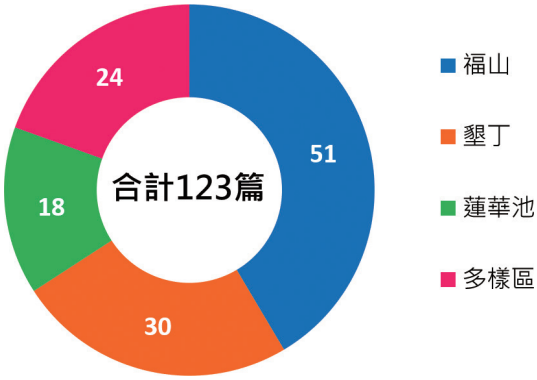

圖5 各樣區研究成果之統計(1995年–2019年5月)。數字代表該樣區參與發表之著作數量。「多樣區」表示三樣區中有多個樣區參與之著作。

(參考文獻請逕洽作者蘇聲欣，email: sush@tfri.gov.tw)