

森林生態學研究的新潮流--森林動態樣區

◎東海大學生命科學系・孫義方

森林動態樣區緣起

森林動態樣區(Forest Dynamics Plot, FDP)的發展最早應回溯到1970年代,當時Stephen P. Hubbell博士正在哥斯大黎加進行無刺蜂的研究。在研究過程中,他發現無刺蜂蜂巢的分布與樹木的種類、大小及位置有很大的關係。為了徹底瞭解無刺蜂的族群動態,他進一步調查了哥斯大黎加一處占地4公頃的森林,將該森林中的林木大小及位置都詳細記錄下來。這個無刺蜂的研究不但讓Hubbell博士體會到了解植物分布對他研究有很大的幫助,同時也啟發了新的森林研究方法與方向。

傳統的森林研究多半注重植群及物種的分類,是一種靜態的森林類型描述。這一類研究利用小面積樣區進行短期或單次調查,對單一或少數物種進行描述,或以這些物種做為森林型分類依據。儘管這些調查提

供了區域性的資訊,但對於近代生態學的眾多問題與學說的解答與驗證,卻僅有輕微而間接的影響。Hubbell博士在無刺蜂的研究中,意外的發現樣區的詳察對他的研究的重要性,並進一步覺察了新方法的重要性。森林永久樣區的調查不但提供了森林動態的資訊,同時也建立了其他生態研究的基礎,可以幫助學者回答更多的生態及環境問題。

Hubbell博士很早即意識到,永久樣區的成功與永續發展必須仰賴強而有力的研究機構支持。為此,Hubbell博士主動與當時在巴拿馬已有數十年研究基礎的史密森熱帶研究所(Smithsonian Tropical Research Institute, STRI)聯絡,並與其所長Ira Rubino博士討論在巴洛科羅拉多島(Barro Colorado Island, BCI)設立永久樣區的可能性。在史密森熱帶研究所的支持下,Hubbell博士與植物分類學家Robin Forster博士於1980年在巴拿馬的BCI設立了第一個50公頃的森林動態樣區。

BCI樣區設立後,Hubbell博士在一次國際會議中與哈佛大學教授Peter Ashton相遇。Ashton博士是世界著名的植物分類學者,在熱帶亞洲有數十年的研究經驗。他不但對龍腦香科植物有深入研究,對森林生態學也有高度興趣。Ashton博士曾在馬來西亞的數個地區設立了許多小樣區研究森林結構與物種分布。BCI成功的範例激發了Ashton博士在亞洲設立大樣區,以進一步瞭解森林動態的想法。在馬來西亞森林研究所(Forest Research



1980年設立在巴拿馬巴洛科羅拉多島(Barro Colorado Island)的50公頃永久樣區為全球第一個森林動態樣區(圖片提供 Steve Hubble)



為比較新、舊熱帶森林的動態變化，1985年馬來西亞森林研究所在帕索森林保護區(Pasoh Forest Reserve)設立了亞洲第一個50公頃森林動態樣區(蘇聲欣 攝)

Institute Malaysia, FRIM)的支持合作下，Hubbell博士與Ashton博士於1985年在馬來半島的帕索森林保護區(Pasoh Forest Reserve)設立了亞洲第一個50公頃森林動態樣區。當初選擇Pasoh的主要原因是希望在亞洲找到一個與BCI具有相似緯度，相似氣候與環境條件等的樣區，以便在相似的基礎上比較新、舊熱帶森林的動態變化。

繼Pasoh之後，Hubbell博士與Ashton博士又與印度科學院合作，於1988年在印度南部的幕度馬賴(Mudumalai)設立了50公頃樣區；台灣也於1989年在南仁山設立了3公頃樣區。總計全球從1980年到1990年的十年間，在Hubbell博士及Ashton博士的推動下，依在BCI的研究方法設立了四個樣區，也有數個樣區正在規劃中。鑑於森林動態樣區越來越多，為能有效管理、推動及維持研究品質，Hubbell博士、Ashton博士及Rubinoff博士又合力於1992年促成了熱帶森林科學中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)的成立。這

個新機構隸屬於史密森熱帶研究所的管轄之下，成立目的即在統籌所有的森林動態樣區事宜，包括經費籌措、設置新樣區、樣區複查、資料處理及教育訓練等。熱帶森林科學中心成立後，在史密森熱帶研究所的經費、人力及組織的支持下，到2006年為止，已在全世界的十三個國家設立了十八個森林動態樣區(詳見本刊P28-29趙偉村一文)。現今已有超過六千種、三百萬棵的熱帶森林樹木在該中心的研究網監測之下。

森林動態樣區的研究方法

森林動態樣區設置的基本方法很簡單，就是樣區內每一棵胸徑大於或等於1 cm的木本植物通通調查。調查時記錄種類、大小及位置，此後每五年調查一次。這個完整而詳實的植被調查提供了許多詳細的森林資訊。此外，許多相關的研究，如土壤、氣候、孔隙分布、繁殖物候學、種子分布等，在詳細的植物資料支持下，更容易展開，因此也啟發了許多新的生態學研究方向。雖然森林動態樣區的樣區尺度較以往的傳統樣區大，設置方法卻很簡單，以下即針對設立的幾個基本原則稍加解釋。

樣區的選定

樣區選定需考慮以下幾點：

1. 樣區所在位置是否為保護區？能否保障長期的研究(至少五十年)不被干擾或破壞？一個具有完整的保護制度和公權執行力的樣區是設置森林動態樣區的最基本考量。
2. 是否為較完整的森林生態體系？換句話說，生存在其中的其他生物相是否完整？

如果只有植物尚完整，而其他的生物，如傳粉者或種子傳播者都已消失，則不但對森林動態的研究有很大的影響，也會影響其他研究者加入的意願。

3. 是否有設備齊全的研究站？因為設立森林動態樣區的主要目的之一，即在鼓勵其他相關之研究進行。樣區若有設備齊全的研究站，將可大大鼓勵其他研究人員進駐。
4. 選定的地點是否具代表性？雖然樣區設立的目的並不在回答植被類型這類的問題，但是能否找到典型的植物社會來代表整個的棲息地仍是十分重要的。因此選擇樣區時仍應考慮這裡的植被及棲息地是否具代表性。

樣區大小的決定

二十多年來，許多人詢問Dr. Hubbell為什麼樣區要50公頃，更大或更小不行嗎？他解釋50公頃不是什麼神奇的數字。它的由來僅僅是因為基於當初在設立BCI樣區時，

對人力和可用森林面積所做的協調及妥協而來的。他認為一個樣區的大小，主要應視該森林物種的豐富度，其次再考慮當地地形及森林總面積而定。物種豐富度高的森林有賴於增加面積來涵括大量物種及提高每一物種的取樣數。例如熱帶雨林物種多樣性極高，因此每個物種的個體數相對就少。若是樣區的面積太小，將無法取得足夠的物種及個體數，許多稀有樹種將被忽略。在這些多樣性高的熱帶雨林，50公頃還嫌有點小。但是對物種較簡單的森林，例如福山而言，25公頃可能就已足夠。另外，新加坡的2公頃樣區則是對現地森林總面積所做的妥協。

植物調查

植物調查，包括胸高直徑測量、上鋁牌、繪圖、物種鑑定及標本儲藏。胸高直徑的測量係使用標準的胸徑尺，以避免再一次換算所可能造成的差錯。另外，每一株的測量位置均塗上鮮明顏色的油漆，這樣下次複



國家公園或保護區內的森林，因有完整的保護制度，可免除森林動態樣區遭人干擾或破壞(伍淑惠 攝)

查時就不會量錯位置，造成誤差。每一株胸徑等於或大於1 cm的木本植物都標以鋁牌，以利身份辨識。每一個鋁牌都有一個獨特的編號，絕不重複。每一株上標的植物都會被繪入小樣區圖中，以便將來轉換成該樹的座標位置。物種的鑑定均根據調查時所採集的標本為主。標本應至少採兩份，一份儲存於標本館中，另一份儲存於研究站內，以利將來的查詢。

為什麼需要記錄每一棵植物的位置？

記錄每一棵植物位置的目的是為了知道植物在空間上分布的關係。由於樣區內的每一棵植物的位置都知道，因此可以得知不同樹種的分布格局；更可以探討物種分布與棲息地或環境因子間的關係。事實上，由於森林動態樣區可以提供空間的資料，也促成現在許多探討植物分布與棲息地關係的研究。

此外，空間分布的資料更可以與植物族群遺傳的資料結合，回答有關植物親緣、傳粉生物學或種子傳播的問題。如果調查時沒有紀錄每棵植物的位置，是無法回答這些問



森林動態樣區中的每一棵樹的均塗有鮮明的油漆並標以有獨特編號的鋁牌，以免複查時量錯位置造成誤差(李聲銘 攝)

題的。

資料處理與管理

熱帶森林科學中心研究網與其他類似研究網的主要不同之一，即在各個樣區均採用完全相同的研究方法，因此獲得的資料可以共享。以往由於各樣區的電腦設備不同，管理、分析資料的能力不一，因此樣區的資料儲存與處理方式不同。為了確保資料的相容性及正確性，在1999年熱帶森林科學中心新加坡年會之後，該中心的工作人員更負起集中資料處理及格式化的統一工作，使得資料格式及儲存漸漸統一。儘管輸入的軟體仍有不同，但各樣區對儲存格式已有共識，使資料交流更為容易。台灣現在的森林動態樣區即具有上述的問題，因此如何整合各個樣區間的資料，讓各個樣區的資料具有相同格式及對樹種分類的處理採用相同的原則，乃台灣森林動態研究網必須解決的首要問題。

資料分析及跨區比較

熱帶森林科學中心研究網另一個比其他類似研究網做得好的地方為提升各個樣區間的資料分析能力。該中心於2001~2005年舉行了一連五年的資料分析研習會(CTFS Analytical Workshops)，會中不但引入了一套免費的套裝軟體作為共同的分析介面，也將資料格式完全標準化。這一系列的研討會也將許多樣區的基本分析所需的程式標準化，並上傳至特設的網頁作為公用程式，免費供各樣區的研究人員下載及使用。這個資料及分析程式的標準化使得跨區比較更形容易，也促成許多跨區比較的研究報告出現。台

灣的森林動態研究樣區雖有十個以上，但卻沒有任何跨區的比較，實屬可惜。如何整合各樣區的資料及提升研究人員資料分析的能力，乃台灣森林動態研究網必須解決的另一個問題。

森林動態樣區與森林動態研究

前面提過，傳統的森林研究多為短期(1~2年)、小面積(1公頃)或是只考慮單一物種的研究。然而，森林動態受到各種環境及生物因子的影響，再加上植物壽命很長，短時間的觀察研究難以窺其全貌；而小面積取樣往往造成研究物種的樣本數目太少，無法真正代表一個物種的變化。此外，森林的動態變化涵括了各種生物，單一物種的研究往往無法代表整個森林的變化。森林動態樣區的設計補償了傳統方法的不足，強調大取樣面積、長期且詳細的觀察及研究，以瞭解影響森林動態變化的各種因子。也就是說，森林動態樣區設立的主要目的是為驗證森林動態及生態學的學說。

這些看似簡單的資料，由於含有空間及時間的變化，為現今許多生態學尚無法驗證的學說提供了最強而有力的證據。例如密度依變效應(density-dependent effects)對種子、小苗存活及森林動態的影響；孔隙對森林樹種多樣性的維持；種子產量及分布對樹種更新之影響等。此外，也因為這些含空間及時間變化的資料，許多新學說也此發展出來，例如中性理論(neutral theory)的提出。

另外一個例子是森林動態樣區獲得的資料，改變了我們對森林「消長及演替」的看法。長久以來植物學家都認為植物社會具有



長久以來植物學家認孔隙形成後，植物會循一定的順序進行演替，最後達到極盛相。但森林動態樣區的資料卻顯示，森林的動態變化是沒有方向性的，主要取決於機會、演化歷史及生物性的共同影響(馬復京 攝)

演替的現象。也就是說，經過某些干擾如火災或颱風形成孔隙後，植物會循著一定的順序，輪流出現，替代前面的物種，最後達到極盛相。但是由森林動態樣區獲得的資料卻顯示，森林的動態變化是沒有方向性的，主要取決於機會、演化歷史及生物性的共同影響。如果沒有森林動態樣區的大面積及長時間的資料，要找到強有力的證據支持「非平衡學派」的理論將更為困難。

結語

森林動態樣區的研究在台灣已進行超過十年，樣區數也由一個擴充到十個以上。現在應該是一個很好的時機回顧、檢討這十五年來的發展，並藉此思考未來的方向及發展。希望藉著台灣森林動態研究網的成立，能夠凝聚大家的共識，找出資料共享、提升資料分析能力、經費籌措、鼓勵新血加入及培養新一代研究人員的方法，以確保森林動態樣區的永續發展及經營。⊗