

氣候暖化下的台灣林業經營

文 ■ 金恒鏞 ■ 亞熱帶生態學學會理事長

一、前言

森林生態系原本就是動態變化的系統，隨時對變動的環境做出適應性的反應，其組成結構會呈現比較穩定的局面。一個較自然運作（不太受人類不同規模的干擾）的森林系統，其穩定性便是人類從中能獲得最大利益的條件；此利益便是來自森林生態系的生態現象與過程，是在自然環境條件下不必要人類橫加干涉而發生的。

然而，因為人類的大規模與密集頻繁的活動，直接與間接的影響原本處在自然狀態下的森林生態系。最直接的擾動莫非摧毀森林，例如：伐木取材、狩獵野生物、墾為農牧地，或改變為都市、工業區、道路等純為人為的活動空間；間接的影響包括兩大尺度，其一是摧毀某處森林生態系之外，勢必影響其在同一地景系統（Landscape）內的所有其他生態系（例如：河流與湖泊生態系、草原生態系、濕地生態系等等）；其二是人類活動促成酸沉降、臭氧層洞、氣候暖化等環境的巨大改變，進而影響生態過程及能提供的服務。當今最大的環境議題是氣候暖化，最大的生命議題是生物多樣性的喪失，兩者均與森林息息相關與互為因果。

氣候暖化本身是異常複雜的現象，而其對森林之影響也是極端複雜的。目前政府的任何環境與產業相關政策，必須前瞻性的納入「氣候暖化」的變動因素。政府的減緩氣候暖化政策必須是「策略性」、「適應性」及「根據科學的正確性」。就以林業經營而言，可能從兩個大方向著手：「了解」森林生態系及受到氣候暖化的可能衝擊與「緩和或補救」氣候暖化之相關森林生態系之經營，即將森林受到的衝擊降到最低與森林之服務功能最大化，讓森林生態系有適應與調整的時間。

二、了解衝擊

了解衝擊與服務之前，要先徹底了解森林生態系的現象與過程，它們是如何受到物理與化學環境與生物群落之影響。因此，對森林所處之長期環境要有更深廣的認識。森林具有地區性特色，不同環境之森林有其地區性的經營方式。因此，透徹了解森林「所在之處」的環境是非常重要的經營依據。

台灣位居亞洲大陸板塊的東緣海中，是位居「火之環」的地震帶上，為太平洋颶風常遇見之風徑，屬於高溫多雨的亞熱帶



氣候地區與高山林立的島嶼。因此台灣可以說是「移動之島」、「地震之島」、「颱風之島」、「眾島之島」、「沖蝕之島」、「森林之島」與「生命之島」。這些特殊性造就台灣的生命獨特性，也是林業經營的基本根據。

台灣的地盤不穩定，受到菲律賓海塊自東南向西北推擠的極大壓力。地盤每年平均向上抬升約0.5公分，向西北方向移動約8公分。台灣的地震頻繁（集集大地震發生的1999年，約有4萬餘次地震事件），這些因素使得台灣島內崇山峻嶺，河流自成獨立的集水區，這成為名符其實的島內有眾島的地形，這控制了島內的森林生態系的類型與表現。台灣島平均約每年為3~4次登陸之颱風，地表地質不穩定與表土沖蝕量大，河流的輸砂量大，使得全島長年處在自然的頻繁擾動下。這些自然環境的特殊性，在維持人工林與復育森林上，面臨了更大的挑戰。台灣可謂生命之島，也是森林之島，物理環境造成特有種（約佔全部物種的四分之一強，視分類單元而異）比例高。多雨與高溫的氣候條件，台灣必然成為森林之島，即使土地利用集約的當前，目前尚有六成之面積為森林。

了解氣候暖化對森林生態系的衝擊大約是最難與最重要之處。了解的目的是要能發展出「適應性策略」。目前的手段是採用各種「模式」，預測將來的氣候暖化到什麼規模，森林生態系受到衝擊之未來結局。從預測的部分結果來研擬森林的經營策略及實踐。

然而所有模式預測的結果是根據模式架構，選用的參數（變數）與輸入的資料決定

預測的可信度。靠科學知識去解讀模式的輸出的結果，始有可能了解氣候變遷的「可能」趨勢與幅度及其對森林的影響。

三、緩和衝擊

森林生態系的存在與功能的運作，氣候是主控的因子之一。降水與氣溫不但控制森林生態系之類型（例如：針葉林、闊葉林、針闊混生林等等）與分布，而且其他控制因子繁多，如海拔高、地形與土壤等環境因子及其內在的生物群落。

一般估計，森林能緩和氣候暖化是靠森林能「吸存」（或固定）大氣的二氧化碳。正當全球森林受到嚴重破壞的世紀，恢復原是林地為森林，確實可以發揮固定可觀的大氣二氧化碳。全球生物圈內的80%碳固定在森林內（Kohlmaier *et al.*, 1998）。因此，增加或減少森林面積對於大氣的二氧化碳濃度有顯著的影響，聯合國「跨政府氣候變遷小組」（IPCC, 2007）的估計指出，1995~2050年期間石化燃料的碳排放量中有12~15%可由林業經營來固定。事實上，森林業提供了緩和氣候暖化的大潛力，何況其成本與風險不但低，而且能提供的許多生態服務與社會益處。森林經營者怎能不看重自己的責任與能貢獻的潛力。

認清林業經營對付氣候暖化的議題是任何有責任感的政府要具備的，而實踐林業經營對緩和氣候暖化的行動才是當今的真正重點之一。

林業經營是應用科學，在對付氣候暖化問題之時，尚可提升森林對生物多樣性的保育，對森林的功能與服務亦有不可思議的貢獻。

一般而言，林業經營以緩和氣候暖化的手段不外乎保育天然林、改造人工林、復育已破壞的林地為森林，然而了解這些森林的長期固碳能力亦非易事，尤其台灣的森林多分布在崎嶇的高山峻嶺，要估算其碳通量是有其極高難度，解決的方法幾乎無其他研究可師。

四、氣候暖化對森林之衝擊

氣溫是生命要適應的最主要自然因素之一，也是主要的天擇力量。氣溫的變遷考驗著

生命的適應能力。地球上生命在此漫長的時間不斷的靠遷徙能力、族群消長、多樣性增減及演化來適應變遷中的棲息環境。其中生命個體的適應與遷移能力似乎是維繫物種存活最重要的機制，然而，主導遷移的成功率仍繫於該物種本身的基因多樣性、繁殖策略、耐氣溫變遷的能力、遷移的速率及克服地理阻礙而定。單一物種遷移的成功率要視該物種所在的族群與群落的系統遷徙率而定。

比較現在與過去的動植物之物種與族群、化石（尤其是花粉）、小型哺乳類動物的時間空間分布的關係，皆可看出生命對氣候是非常敏感的。例如北美洲的倭樺（*Betula nana*）只分布在氣溫不超過22°C的棲境，也就是說該棲境若因氣溫變遷而暖化，則該物種可能自該氣溫的環境消失。美國過去兩個世紀的紅雲杉（*Picea rubens*）林逐漸為闊葉樹林取代，亦用來說明氣候暖化的未來樹種之分布趨勢（Hamburg and Cogbill, 1988）。

至於根據化石所屬的物種及其豐量分布的證據，更可以蒐集到較大規模與較長期的氣候變遷與物種分布的關係資料。過去1萬8千年的全球氣溫平均有5°C±1°C的落差，而此落差亦接近科學家認為溫室氣體濃度若加倍於現今的話，預估未來百年的氣溫變化。

利用花粉資料可以說明植群變遷的歷史。北美洲與歐洲過去1萬8千年的主要植群區的組成與結構發生過重大的重新配置，此族群的豐量、分布位置與冰川及變遷的氣候相關連（Web, 1992）。然而彼時之物種有較長的時間適應環境與進行演化過程，但是



（圖片／高遠文化）



當今氣候在極短的時間內暖化，並未給物種有足夠適應的時間。科學家利用JABOWA-II的氣候變遷模式研究北美洲的黑紋背林鶯（Kirtland's warbler）棲地受到的衝擊，他們的結論指出，若無新的政策因應棲地環境的變遷，許多瀕危物種（如黑紋背林鶯）將有滅絕之虞（Botkin and Nisbet, 1992）。

未來百年內全球氣溫的變遷雖然推測平均約上升 3°C 左右，然而氣溫的改變只是全球環境變遷的一個項目，其所引起的其他氣候物理上與化學上的改變，讓生物面臨除氣候暖化外的更嚴峻的考驗。這類綜合的複雜關係，雖非當今知識水準所能預見，卻為有識之士的普遍隱憂。然而我們只能根據現有對相關環境的基本科學（如物理學、化學、生物學、生態學、古生物學、氣象學等等）的了解，推論地球變遷對森林生態系造成的影響。

中央研究院汪中和指出，台灣百年來年均溫已上升 1.2°C ，尤以近20年來上升速率更快，有暖冬現象。夏季溫度變化較小，但20世紀前半期與後半期之間有明顯的上升，台灣的日夜溫差自1970年後就大幅減少約15%（Wang, 2004、2005）。我們知道影響森林生態的最重要因素之一便是氣溫，分布在台灣高山的植群，若最低溫上升與上升時間過長，對植物之生理極可能造成難以承受的衝擊。森林的冬季呼吸作用可能提高，影響生理活動，消耗過多儲藏物質，衝擊來春的正常生理活動。另一個影響因子為降水，近50年來，台灣北部的年平均雨量有增加的趨勢，而較早的西南部，雨量相對減少，溫度與降水

左右森林之生長，如今，必須要認真看待氣候變遷對森林的影響了。

台灣目前的森林面積佔全台灣總面積的一半以上，若以高溫與多雨的氣候特性論，台灣基本上是以森林為主要植群的島嶼，此森林構成的生態環境可提供極多的生態功能與服務。台灣目前的木質產品幾乎全靠進口，因為天然林已於1991年宣布禁伐，而人工林經營與許多環保問題糾纏不清，且無出售獲利的可能，故也沒有大量的木才收穫作業，這驅使台灣的林業經營走向環境保護、生態保育與大眾遊樂的途徑。

五、氣候暖化下的林業經營之因應

前文提起過，任何因應策略必須要有模式預測之資料。為減少模式導出之「不確定性」結果，科學研究之信息，必須持續提供給模式運用計算。此時，「研究、監測、詮釋、資訊管理」對林業經營實為連續性且同等重要的事，任何一項皆不能偏廢。

此地僅就國內林業面之若干研究、監測、詮釋與資訊管理為例，說明林業科學信息之獲得，必須長期從事為之。這裡例舉森林業經營要面對的事情：先對付對於氣候暖化敏感之森林；天然林之動態變化；人工林因應環境變遷之經營；森林之碳吸存能力；資訊管理成為後代傳承之生物襲產。所有經營原則是採用「生態系經營」或「適應性經營」，以期可永續利用森林生態系給予的服務與功能。

（一）天然林的林業

台灣的自然林面對氣候暖化的壓力，我們必須關心自然林的變動與適應能力及將來的變遷。適應能力的指標可以是植物本身的基因多樣性、光合作用與分解作用、物候特性，以及與其他一同生態系內的其他相伴生命（如共生生物的菌根菌；授粉的蜂、蝶、蛾、蠅、蝠等等；傳播種子的動物）是否能有適應的能力。為此，林務局、台灣大學、東海大學與林業試驗所於2003、2005年分別設置了全國最大的森林生態學動態樣區兩處（每處25公頃）。在25公頃樣區（北部的福山與中部的蓮華池）內，每一種木本植物（DBH>1 cm）要經過分類鑑定、丈量、描述、定位、繪圖等工作。此植物普查工作每5年重覆1次，研究

物種多樣性、植物成長，死亡的長期動態學。其他包括生物量、種子、苗木、更新、營養循環、分解等研究（Su *et al.*, 2007）。從長期動態變遷中得悉受環境影響之森林變動，林務局已認清此長期資料對天然林經營與維繫的重要性，讓林業經營走上「科學的管理」路途。

（二）人工林的林業

林業政策規定台灣的伐木跡地必須立即造林，目前的人工林約有40多萬公頃（林務局，1995）。對此人工林，若有任何撫育作業，也只注重材積生長，對人工林的其他生態與環境功能並未大面積的積極經營。林務局並未忽視人工純林的經營，目前已依適應性林業經營原則，設置了一個試驗性質的人工林兼具生態與經濟的經營研究（Sun, 2007）。林務局嘉義林區管理處的「人倫人工柳杉林」的普查結果發現，純人工柳杉林內已約有原生木本植物150種（孫義方，個人通訊）。理論上，這些原生種皆更具適應氣候暖化之能力。以此原生物種為基礎，人工林可利用適應性經營（如疏林作業），促進原生物種之發育，藉以可能改變人工林之結構與物種組成。假以時日，使其接近天然林之生態系，並提升生態服務（Wang and Chung, 2007），這也可以說是一種復育林業。

（三）碳吸存的林業

森林若對緩和氣候暖化之貢獻，一般是先看森林固碳之能力。台灣的森林都分布在地形異常崎嶇與陡峭的山區，一般國際通用的碳吸存理論、公式、儀器設備與架設，



（圖片／高遠文化）



很難適用於台灣的多雨、多霧、多颱風的生態環境（夏禹九、謝正義、張世杰，2005）。然而，國立東華大學的夏禹九教授在環境保護署的大部分補助下，於棲蘭山的紅檜人工林進行碳吸存的估計研究（夏禹九等，2005、2006）。

世界重視生態系與碳吸存的相關性，瞭解陸域生態系統碳循環過程、變化趨勢與調控機制，企圖解決全球氣候變遷的若干重要問題。位於台灣東北部的棲蘭山樣區，於2002年設置了森林生態系與二氧化碳通量的研究站，樣區的自然環境屬於雲霧帶，常有霧氣繚繞，樣區內由高經濟、俗稱檜木的台灣扁柏（*Chamaecyparis obtuse* var. *formosana*）優勢構成森林生態系。

為了解生態系的能量、水與營養循環的模式與控制機制，必須長期監測各項微氣候因子、生態系的養分存量等項目。透過長期監測，發展適合區域尺度下的生態系模型，然後再上推擴大至台灣其他的森林生態系，以期能瞭解森林生態系統與二氧化碳通量。呈現碳在時間與空間上的變化。此外，由通量塔資料所估算的生態系淨氣體交換，亦是全球用以整合比較不同生態系碳通量的方式之一（張世杰、夏禹九，2008）。

台灣森林碳吸存的研究，是要揭開台灣森林的環境功能，理應受到林務局、林試所、國家科學委員會及其他關心台灣森林功能的學者與經費機構的重視。

（四）適應性管理的林業

適應性管理的精髓在於所有管理策略

本身有容納修正與改善管理之機制。因此，管理策略之實施本身也是一個長期與連續的試驗，從試驗結果與結論中不斷修正管理方法（Samson and Knopf, 1996；Kolm and Franklin, 1997）。

適應性管理是新近發展出來的管理理論，不但適用於森林管理，其實也適用於所有生命相關的管理。可惜的是真正採用此管理的機構不多，故增加誘因與政府高層單位的重視，更是重要的事。

（五）生物襲產之林業

森林生態系能發揮的功能不能因為只是我們這一代的經營責任。這一代的對錯與成敗如何讓下一代警惕與學習，端視這一代能否將科學正確的經營所獲得的經驗與資料完整的傳下去，讓累積的資料發揮功能。而傳承「有用的、可取得的正確資料，需有尖端的科技去取得，先進的資訊管理系統去管理。」故如何永續此生態系是我們重要的責任、任務與倫理。而實質維持此生態系，所有長期且分散各處的科學資訊，必須以標準化的格式儲存，如此始有希望將傳承與分享所有資訊，務必使得後世代能持續使用累積之資訊（Lin, 2006）。

六、結論

氣候暖化已成為長期的環境壓力，除了天氣變暖的直接壓力外，所有物理環境也將因而改變，此對地球上所有的生命產生迅速與重大的擾動，森林生態系自然無法不受衝擊。然而，亞熱帶的台灣森林生態系之反應

勢必與其他氣候與其他地區的森林生態系有極不同的反應。因而，他山之石，往往難以借鏡，我們必須要發展出管理台灣森林生態系的方法。

台灣能做的便是設法徹底了解台灣森林生態系的現象與過程，這些系統的復原力與彈性，我們應從天然林的動態學、森林的碳吸存能力、人工林的復育學著手，尤其高山針葉林生態系內物種的物候變遷、更新、遷徙能力。

最後，森林生態學不是「植物」或「林

木」生態，而是整個系統內的所有生物群落（群集）的交感效應（食物網、能量傳輸與物質循環）。此外，各物種的物候學與多樣性亦列在「必知清單」中。

很清楚的，台灣的森林經營已從木材生產擴充到保育林業或可永續林業。氣候暖化下的森林生態系之衝擊必須認真思考、了解與採取因應的行動。♻️

參考文獻（請逕洽作者）



（圖片／高遠文化）