

美國森林健康監測評量體系之介紹

◎邱新榮／臺大森林系助理教授
聶齊平／臺大森林系學士

壹、前言

以往森林經營的觀點是以林木資源的高生產、高收穫為取向，因此在對於森林資源進行調查時，都以林木資源的相關項目為主，例如材積、林木品質及原木造材率等，對於森林的其他狀態著墨並不多，因此很難從調查的項目瞭解森林的狀態如何。然而，隨著時代的演進，我們對於經營森林的觀念也不斷的更新。如今，於經營理念方面，強調以生態系為考量的觀點已超越以往以林木生產為主的觀念，在具體施為上強調經營試驗之施行及監測體系之建立亦成為經營計畫中，檢驗經營成效的重要工具。但在實際調查方面，由於影響森林經營的因子錯綜複雜，因此如何建立有效的監測體系，以檢核經營成效，則是

吾人在落實生態系經營過程中一個非常重要的課題。本文謹以美國森林健康監測（Forest Health Monitoring(FHM)）計畫為例，說明如何建構一個較為實際可行的監測評量體系，做為爾後在建構森林生態系經營監測工作時的參考。

貳、美國森林健康監測計畫評量體系

美國森林健康監測計畫曾有學者撰文介紹過，有興趣者可參考台灣林業第22卷第9期，馮豐隆教授所撰的『介紹美國國有林監測計畫』一文，其重複之處本文不再贅述。美國森林健康監測計畫是一個主要由美國林務署（USFS）與環境保護署（EPA）所共同推動的跨機構計畫。計畫目的旨在透過監測指標，來評量森林健康的狀態、變化與未來趨勢。

計畫中主要分為檢核監測 (Detection Monitoring)、評估監測 (Evaluation Monitoring)、密集立地生態系監測 (Intensive Site Ecosystem Monitoring) 與監測技術研究等四大部分。首先必須對所謂森林健康加以定義，以便大家能有一定程度的共識，做為建立評量系統的依據。當然，定義會因各個團體關切點不同而有所差異。例如，Palmer 等人在 1992 年提出：「健康應考慮到疾病或未知壓力而造成損害情形」，另 O'Laughlin 等人在 1995 年亦說明：「森林健康是森林在提供人類所需之餘，仍維持著一定複雜性及多樣性的狀態」。在多年討論及集合各方意見下，美國林務署最後歸納出森林健康的定義為：「提供人類所需之餘，仍維持一定複雜性、多樣性、及生產力的狀況」。

在此種森林健康的定義下，森林健康計畫透過社會價值 (Societal Values)、評量項目 (Assessment Endpoints) 與調查指標 (Indicators) 等三種層次的評量

體系，做為整個森林健康監測體系的架構。在社會價值方面，認定有三項社會價值可以有效地包含前述的森林健康定義。

此三項社會價值分別為：

(1) 生物完整性 (biological integrity)：

生物多樣性、組成、及各組織間關係維持在近似於自然生態系統的平衡狀態。

(2) 消耗性資源 (consumptive use)：

在森林資源中，可以被分割的環境產物及利益，所代表的價值。此所指的價值並非完全以金錢作代表。亦即消耗性

資源指的是森林資源中，因人類使用會被消耗的資源，例如：漁產、打獵、木材砍伐、及農產品等。

(3) 非消耗性資源 (non-consumptive use)：

在森林資源中，無法被分割的環境產物及利益，所代表的價值。亦即非消



耗性資源指的是並未因人類活動而有所消耗的資源，例如：健行、賞鳥等。

林環境及野生動物棲息來評估。

由於社會價值的概念太過抽象，因此，可整理如下表所示：

表1 社會價值與評量項目關係表

社會價值	評 量 項 目					
	生物多樣性	生產力	永續性	森林美學	森林環境	野生動物棲息
生物完整性	◎	◎	◎			
消耗性資源		◎	◎			
非消耗性資源				◎	◎	◎

此在定義了三項社會價值後，FHM計畫便依循三項社會價值，另外定義出六項可在評估中有效反應社會價值的評量項目。一般來說，評量項目類似於一般所謂的「準則」(Criterion)，這六項評量項目包括：生物多樣性、生產力、永續性、森林美學、森林環境及野生動物棲息。

此六項評量項目與社會價值的關係為：

- (1)生物完整性：由生物多樣性、生產力、及永續性的評量項目為代表。
- (2)消耗性資源：與生產力及永續性的評量項目有關。
- (3)非消耗性資源：可經由森林美學、森

因此，藉由對於評量項目的探討，不但能較具體的瞭解森林健康的狀況，更可有有效的經由分析而瞭解社會所關心的價值。而為了真正在森林調查上的方便，森林健康計畫更進一步的選定了一些實際施測時所使用的指標，這些指標不但能真正符合森林測量時工作的需求，而且可有效的作為評量項目的分析工具。下表便是針對調查指標與評量項目的關係作整理比較：

綜觀由社會價值、評量項目、以及調查指標三種層次所建構的森林健康監測體系，彼此間不但能夠相互呼應，並且能有上下連結的關係。其彼此間的連結可由圖1呈現。

表2 調查指標與評量項目關係表 (仿Stolte and Lund · 1995)

RHM 調查指標	生物多樣性	生產力	永續性	森林美學	森林環境	野生動物棲息
斷面積生長 (Basal-Area Growth)		⊙	⊙			
指標植物 (Bioindicator Plants-Ozone)					⊙	
枝條評估 (Branch Evaluation)		⊙		⊙	⊙	
樹冠面積 (Crown Area)		⊙				
樹冠死亡率 (Crown Dieback)			⊙		⊙	
樹冠生產效率 (Crown Production Efficiency)		⊙				
樹冠透視度 (Crown Transparency)		⊙		⊙		
樹冠形狀比 (Crown Shape Ratio)		⊙		⊙		
受害情形 (Damage)		⊙		⊙		
樹輪Dendrochronology		⊙	⊙			
樹木化學性 (Dendrochemistry)			⊙		⊙	
葉化學性 (Foliar Chemistry)			⊙		⊙	
苔蘚化學性 (Lichen Chemistry)					⊙	
苔蘚叢生 (Lichen Communities)	⊙				⊙	
枯死率 (Mortality)			⊙			
輻射能 (Radiation-Leaf Area)	⊙	⊙				
植物多樣性 (Plant Biodiversity)	⊙		⊙	⊙		
更新狀態 (Regeneration)	⊙		⊙			
根部病狀 (Root Pathology)		⊙	⊙			
土壤酸化 (Soil Acidification)		⊙			⊙	
土壤水平沉積 (Soil Horizon Aggradation)		⊙	⊙			
土壤碳氮比 (Soil Carbon:Nitrogen Ratio)		⊙			⊙	
土壤有機質Soil Organic Matter		⊙	⊙			
植被材積 (Vegetation Volume)		⊙				⊙
野生動物棲息 (Wildlife Habitat)	⊙					⊙

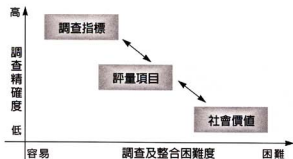


圖1 社會價值、評量項目、調查指標關係圖

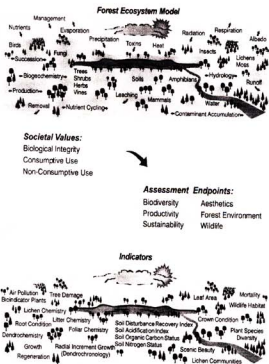


圖2 社會價值、評量項目、調查指標模式圖(Stolte & Lund, 1995)

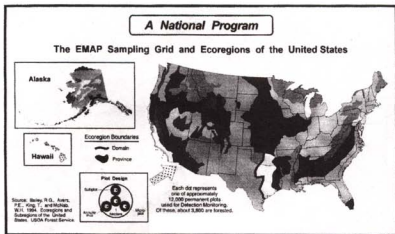


圖3 FHM樣區配置圖 (Stoite and Lund, 1995)

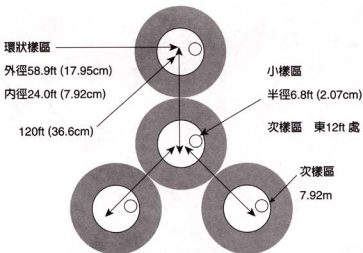


圖4 FHM複合式樣區設計圖

此外社會價值、評量項目、以及調查指標三種層次亦可由森林生態系模式來加以說明，其模式如圖2：

經由森林生態系模式的架構，可以讓我們清楚地看出一個監測體系的建立，如具備強且明確的模擬模式為後盾，將可輕易地架構出不同層次的監測項目，而不致茫茫然，不知應從何處著手進行監測。

在FHM計畫，為有效評估全國森林之健康狀況，特於全國廣設調查樣區，樣區設置係採六角形方式，每158000英畝便系統設置一個圓形永久樣區。全國共約有12000個永久樣區，其中約有3800個為森林樣區。其圖示如圖3：

每一組永久樣區面積為一英畝（0.4047公頃）由四個半徑17.95公尺的圓形樣區所組成，其相關位置如圖4所示。

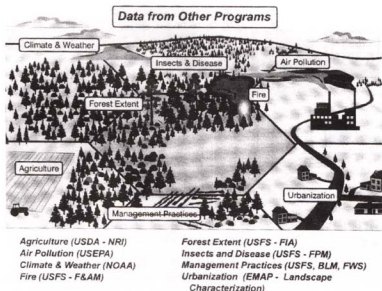


圖5 FHM與外部資訊連結圖(Stolte and Lund,1995)

在每一個圓形樣區內，依調查對象之不同設計成複合式的樣區設計，另設置有半徑7.32公尺的同心圓樣區，及偏離中心東邊12英呎為圓心，半徑為2.07公尺的小樣區。在樣區內，參與FHM計畫的單位每半年至一年，便針對所設定之調查項目對樣區進行調查。在調查後，詳盡的資料分析工作更使得經營單位有效的掌握森林健康狀況。

此外，為進一步有效掌握各種樣區周遭資訊，FHM計畫亦同時與其他單位所調查收集的資料加以整合，其中包括來自美國農部其他單位及其他部會的資料，如圖5所示：

由於FHM計畫是基於實際資訊的需求才因應而生的，因此，在計畫中發展除重視資料收集之外，並相當強調資料的分析過程與其結果如何提供給相關部

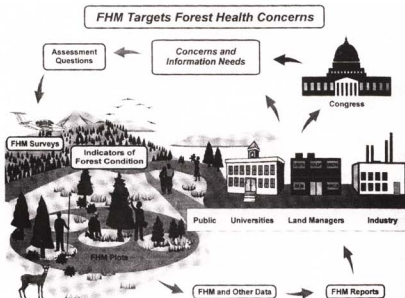


圖6 FHM資訊需求與供給圖(Stolte and Lund,1995)

門使用。尤其在回應立法部門的要求方面，更是計畫成果的最原始貢獻。其整個資訊需求與流程，可由圖6表示：

從上圖中，可以明白地表示出整個資訊流動的原動力可由立法部門提出資訊的需求（這代表立法部門要求行政主管機關提出林地經營的具體成效或說明目前森林之狀態）或行政主管機關為森林資源現況、瞭解經營成效或爭取預算（例如行政主管機關為爭取預算而主動提

供成果資訊給社會大眾或立法部門）。但不論原動力為何，FHM計畫都詳盡且明確地扮演資料收集與資訊生產的功能，做為撰寫國家森林健康報告的基礎。由此，我們可以看見FHM計畫在定位上，確實能清楚地掌握其角色，不致有定位不明的情形。

參、森林健康調查指標之選擇與評估

Knapp等人（1990）定義了六項在選

表2 指標發展準則（Lewis, et al., 1995）

準 則	資料形式
低環境衝擊Low Environmental Impact	質性資料
量化簡單Simple Quantification	質性及量性資料
可明確判釋Unambiguously Interpretable	質性及量性資料
調查穩定性Index-Period Stability	量性資料
區域性反應Regional Responsiveness	量性資料
高訊號雜訊比High Signal-to-Noise Ratio	量性資料

擇及建立森林健康調查指標時，作為評估與選擇適當調查指標的準則（Criteria）。依循這六項準則所選擇出的指標，較客觀且具一致性，因此提供了科學家在選擇及加入森林健康調查指標時的參考。FHM便使用這項標準，作為選擇建立森林指標時的依據。這六項準則其所代表的資料形式如下表，準則的難度隨排列順序而遞增：

現就各項準則所要求指標的標準作一介紹：

(1) 低環境衝擊

環境衝擊的意義就如同森林健康的定義般多地變，在此所謂的環境衝擊係指指標在調查進行過程中是否會對其他指標或本身調查的工作環境的有所影響。也同時在進行調查的指標，並且不會影響到未來各指標對森林調查的進行。例如，土壤研究人員對土壤調查時所挖的土壤剖面，並不認為會對整

個土壤系統造成太大的影響。但對於植物研究人員而言，則可能認為對地被層植物的會造成相當程度的干擾。另在植群調查上，人員在調查過程中對樣區的踐踏，即為常見的對調查環境的衝擊。這種衝擊可分為三種：

1. 對其他現有指標調查之衝擊
2. 對指標本身未來調查之衝擊
3. 對未來其他指標調查之衝擊

(2) 量化簡單

此準則要求指標能利用概要性的監測計畫，或低成本的自動化監測方式（如遙測）來量化調查。同時，也要求在調查過程每項調查，均能邏輯上是可實行的。這項評估準則主要有下列四個考



量：

1. 調查器械與量測是可靠的且能應用於野外調查使用，調查步驟應能可靠且可重複、易懂且容易施測於現場以獲得精確高的資料
2. 指標的施測難易度以及所需時間都要先行評估且屬可接受
3. 資料及樣本的蒐集能在一日內調查完成
4. 調查費用為FHM檢核監測所負擔得起的

(3) 可明確判釋

此準則主要著眼於與FHM概念性模式的生態關連性，可分為下列六項：

1. 符合FHM概念性模式
2. 能回答關於森林生態系的問題
3. 有文獻回顧及野外實證的支持
4. 具有可量化的計算式
5. 能整合至樣區層級的指標
6. 有適當且合理的門檻值（Threshold）可供評估

門檻值為用來適當地區分一個族群

為幾個小族群的標準。在訂定這個門檻標準時，常依據下列資訊來源：

1. 前人研究的文獻回顧
2. 既有資料
3. 壓力梯度的研究
4. 追溯性的分析
5. 專家意見
6. 公眾意見



在門檻值的訂定方面，有些指標（例如森林美質評估）需仰賴於公眾意見的參與，或從科學研究或既有資料庫分析的成果，來決定適當的門檻值。當然，門檻值的確立需建構於連續性檢核，並隨知識的累積而有所調整

4) 調查穩定性

指標調查數據的變異情形，在調查期間必須能保持相當程度的穩定，並且在量測的過程，其調查誤差應越小越好。在調查誤差方面，FHM及EMAP曾設定資料品質目標（Data Quality

Objective, DQO) 為：

$(\text{調查期間變異} + \text{調查誤差}) / \text{樣區間變異} \leq 10\%$

(5) 區域性反應

這項準則主要在評估指標值於決定現有狀態及偵測區域內變化的能力，內容則包括有資料的事後分層與比較不同生態層或棲地間的能力。在樣區數目方面，於區域內的每一層均應至少有五十個以上的樣區，並且在不同生態區域間能相互校準。

(6) 高訊號雜訊比

此項準則在於評估指標檢測長期變化趨勢的能力。因為必須有在相似生態系或林型所調查類似指標的長期監測資料做為評估參考，所以此項準則應屬最難予以評估。此種訊號雜訊比的變異，主要有下列變異來源：

1. 年度間的區域變異
2. 與樣區間之交互影響
3. 殘差量（含調查期間變異與調查誤差）

FHM設定的目標值為：10年間區域內的每年線性趨勢為2%、第一型誤差機率值為0.2%、測驗力（Power）為70%。

遵循上述六項發展準則作為選定森

林健康指標的依據，FHM系統從美國對於森林狀況及壓力時所使用的指標中，挑選出在反應森林狀況時最主要的幾項指標。並且依循下列十個步驟確定指標的適用性：

- (1) 發展概念模式或理論框架
- (2) 確認與其相關的社會價值
- (3) 定義出指標組成與理程序
- (4) 將所欲評估的問題公式化
- (5) 針對候選指標查閱相關的科學文獻，及可獲得的基本資料
- (6) 在特定樣區進行指標的測試
- (7) 測試後，計算樣區階層指標與評估指





標表現特性

- (8)由FHM成員檢核指標發展與測試成果
- (9)由非FHM成員檢核指標發展與測試成果
- (10)確認指標組成與理程序中尚未評估部份，並挑選新指標再測試

肆、結語

本文僅先就美國森林健康監測計畫評量體系的架構略加說明，主要希望能對苦於無法擬定生態系經營計畫中的監

測計畫的人士有所助益。因為，從本文可清楚地看出如何架構一個完整的監測體系，其間由高層次的社會價值直到細部的調查指標應如何銜接及如何挑選指標，應是值得我們參考的。至於調查指標細部情形並未加以說明，尤其在調查指標實際調查方面，日後當另文詳細說明，以便供有興趣人士參考。■