

如何評估森林經營的社會生態系統韌性

謝漢欽^{1*}、王韻皓¹、湯適謙²

前言

森林是一個社會生態系統(social-ecological system, SES)，由社會及生態兩個的次系統相互連接。透過生態次系統提供生態系統服務貢獻於人類福祉，社會次系統則基於人為的生態系經營或非故意的人為影響，反饋回生態次系統(圖1)。在面對越來越劇烈氣候變遷引起的諸多干擾(disturbance)，政策制定者與專家學者，紛紛倡導提高森林與森林經營的韌性(resilience)，以便能穩定地(永續)提供森林生態系統服務。

本文將社會生態系統韌性(SES resilience)定義為：在外力干擾的情況下，透過社會及生態系統組成分間，在多尺度的交互作用下，重新組織及適應的能力。我們可以藉由多樣性(diversity)、連接性(connectivity)、適應能力(adaptive capacity)，3個主要韌性機制(resilience mechanism)，來支持及加強森林經營的SES韌性(圖1)。

森林經營具有多目標利用的特性，經營時需要確定明確的經營目標與合適的經營策略。在經營規劃決策過程中，需兼顧不同利益相關人(stakeholder)的多面向的需求與偏好，同時也會面臨不同時空尺度(scale)的多元取捨(trade-off)。如何將上述3個主要韌性機制與取捨，融入森林經營決策過程，據以評估可替選的森林經營策略的韌性，選定最具韌性

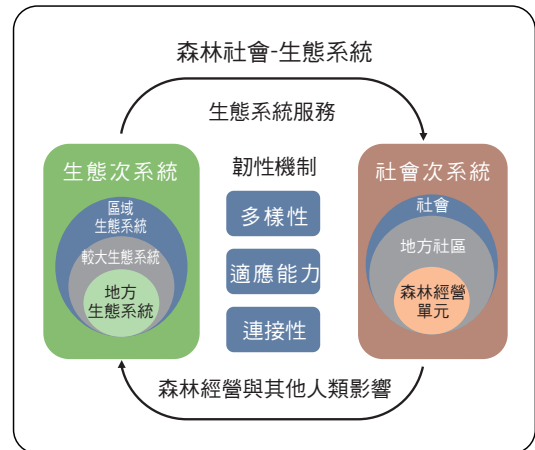


圖1 本圖說明社會生態系統韌性觀念。社會生態系統藉由左右兩個箭頭方向連接森林的生態及社會次系統，中間3個藍色方格代表與兩個次系統關聯的3個必要的基本韌性機制 (Colding 和Barthel，2019) (謝漢欽 繪)

的經營策略；相關的科學方法與可實行的步驟，為當前森林經營所迫切需要。因此本文透過最新的研究文獻，介紹一個符合上述條件，依據原則(principle)、準則(criteria)及指標(indicator)(簡稱PCI)階層次設計的執行框架(frame work)。依循框架的執行步驟，可用來評估不同森林經營目標及其策略的韌性。

韌性機制、取捨與平衡

韌性機制定是指能促進系統韌性的系統的屬性或功能。本文依文獻回顧，選定的3個必要的森林韌性機制(1)多樣性：在生態次系統中以生物的多樣性表示，在社會次系統則以行動成員在不同層級間互動情況來表示。

¹ 林業試驗所森林經營組

² 林業試驗所森林利用組

* 通訊作者(mickey@tfri.gov.tw)

表1 以例子說明SES中4個取捨的類型(Nikinmaa 等，2023)

取捨的類型	說明	例子
不同韌性機制之間	韌性機制有利於系統的某些部分，但同時增進其他部分的脆弱度。	在高度連接的社會生態系統中，物種可快速繁殖增加面積，但也能促進病蟲害的大面積傳播，因而快速危害系統。
不同生態系統服務之間	為提供某一生態系統服務而影響到其他生態系統服務的提供。	為提供木材收穫，因而降低應有的二氧化碳吸存，與增加土壤流失的風險。
生態及社會次系統之間	某機制賦予生態次系統及社會次系統韌性，但無法同時兼顧兩者。	建立大面積嚴格的保育區，可以保全生態系統的連接性，但卻限制當地社區使用該區的自然資源。
不同空間、時間及層級尺度之間	韌性機制運作於跨時間及空間尺度，某些經營決策加強社會生態系統的韌性限於短時間框架；但在長時期卻削弱，反之亦然。	在易於發生森林火災的地區，嚴格的林火控制在短期內可以保護森林，但由於生物量的累積，在長期時間內卻容易發生森林大火。

當受到外來干擾，提高多樣性能增進系統的持續與恢復力，(2)連接性：是指在某一地景格局及社會範圍內，跨越生態及社會次系統之可用資源、物種或行動者之間的交互、散布或緩和的作用；能促進系統的自我組織能力，能散播知識、創新及增進福祉。(3)適應能力：系統承受壓力、適應變化及重新組織成新的狀態的能力；本文依據IPCC 2007，將適應能力定義為：系統適應改變，緩和危害，利用機會，以及處理後果的能力。森林經營的多樣性則表現在經營者可支配的資源範圍，連接性則呈現出協調行動的能力，適應能力呈現在成員的行動能力。這3個機制應同時兼顧，減損其中之一，都足以降低系統的韌性。

為增強SES不同子系統的韌性，可能會導致衝突。例如採取提高某個子系統韌性的措施，會對另一個子系統產生不利的影響，是一種常見的取捨。森林經營SES中存在4種可

識別的取捨類型：(1)不同韌性機制間、(2)不同生態系統服務間、(3)不同時間和空間尺度間，及(4)生態和社會子系統之間的取捨，舉例說明(表1)。森林經營應將利益相關人的偏好納入決策過程中，經營者須與利益相關人共同對相關的取捨進行平衡分析，以減少對系統其他部分的負面效應。

評估森林經營韌性的框架

本文介紹的PCI框架，其中原則為源於基本法律或法規，是推動行動的依據。準則用於說明動態生態系統過程，或與原則密切互動的社會系統。指標為定量或定性的變數(variable)，可透過韌性評估，檢核其與所屬準則的符合程度。本框架共有七項原則、20條準則(表2)。前三項原則和9條準則分別對應SES兩個子系統的韌性機制，而後四項原則和11條準則，分別呈現4類取捨之間的平衡。本框架遵循適應性經營(adaptive management)過

表2 評估森林經營之社會生態韌性的7項原則和20條準則(Nikinmaa 等, 2023)

原則	準則
1.發展與促進系統的多樣性	1.1維護或增進生態多樣性 1.2維護或增進社會經濟多樣性 1.3維護或增進社會生態多樣性
2.發展與促進系統的連接性	2.1維護或增進生態連接性 2.2維護或增進社會經濟連接性 2.3維護或增進社會生態連接性
3.發展與促進系統的適應能力	3.1維護或增進生態適應能力 3.2維護或增進社會經濟適應能力 3.3維護或增進社會生態適應能力
4.考量機制內與機制之間的平衡	4.1機制內的平衡 4.2機制間的平衡
5.考量次系統之間的平衡	5.1生態及社會次系統多樣性的平衡 5.2生態及社會次系統連接性的平衡 5.3生態及社會次系統適應能力的平衡
6.考量生態系統服務之間的平衡	6.1供給與文化服務的平衡 6.2供給與調節服務的平衡 6.3調節與文化服務的平衡
7.考量尺度之間的平衡	7.1時間尺度之韌性機制平衡 7.2空間尺度之韌性機制平衡 7.3層級尺度之韌性機制平衡

程，對森林經營的規劃、執行、監測和調整階段，反復循環的進行，共分成10個步驟(圖2)。其中步驟1到5屬於適應性經營的協商階段，步驟6到10屬於循環階段。其中以紅色字表達的2、3、4、5、7、9、10步驟，為有利益關係人參與的步驟。

框架的執行步驟

1.組成利益關係人小組

成功的利益相關人的參與，需要建立在公正、良好的信任基礎上。先由學者和專家提供經營項目及背景資訊給利益相關人，以協助

定義系統邊界及系統的重要屬性。林地使用者或受林地使用影響的人，都應受邀參與利益相關者小組，最基本成員應包括森林所有者和經營者，或林木企業；此外可以廣邀與森林經營相關的社會和政策團體、及其他社群代表。小組的規模應該允許成員進行有利的對話，每一參與者都能影響決策的制定。

2.在地景尺度認定系統及系統邊界

定義SES及其邊界(聚焦的尺度)，需同時考慮到生態和社會經濟單位。可透過識別區域(region)中同質的生物物理和社會經濟變數，來定義系統邊界及SES的地景和社會經濟單元。此外尚需要定義所需的時間和空間的尺度，並應將系統邊界和界外更大尺度會發生的韌性取捨，納入分析。

3.定義經營目標、經營策略及主要取捨

應與利益相關人共同定義經營目標和實現這些目標的可替選的數個經營策略，以了解經營決策會影響到那些人。不同經營目標會導致不同的森林韌性，定義經營目標及其結果，可以進一步確定影響韌性的主要取捨類型，舉例3個可能的經營目標，說明(表3)。

4.確定指標、反應曲線及權重

與森林經營SES 韌性和特定干擾相關的重要指標及其反應曲線(response curve)，需要由利益相關人、森林科學家與專家共同評估後確定。指標的反應曲線是指系統韌性常態化後的分數(0-1)隨指標值依時間的變化的曲線。反應曲線應依據SES韌性如何受選定指標影響的科學證據，以及經營環境下的當地知識；反應曲線會根據社會生態背景與不同的取捨，變換曲線的型態。此外利益相關者應先決定每一指標的最小門檻值，以確保所有

執行框架的步驟

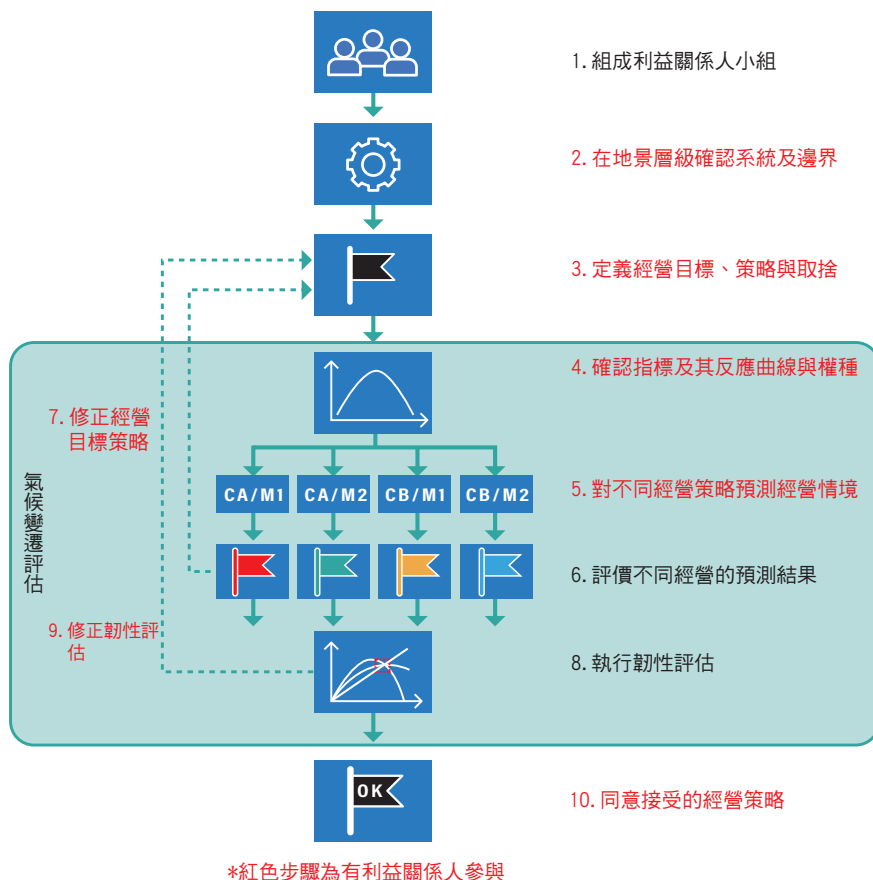


圖2 應用執行框架的步驟於森林經營決策制定，圖中CA、CB指不同的氣候情境，M1、M2表示不同的經營策略，不同顏色的旗幟代表不同的經營結果(Nikinmaa 等，2023) (謝漢欽 繪)

指標都能融入分析中。當所有指標確認後，利益相關者再針對經營目標之備選策略的重要性，決定指標的權重(圖3)。

5.為每一經營目標預測未來情境

依據未來氣候、社會經濟環境、森林政策和生態系統服務需求可能的變化的情境，從

已認定的森林經營策略，透過模式分析，模擬未來的指標值，預測未來的經營結果。

6.評價預測的經營結果

依據經營目標評價預計的經營結果，目的在於確認選定的備選的經營策略是否能實現認定的經營目標，如果無法達成目標，則應考慮

表3 舉例3個經營目的與可替代的策略，以及與經營韌性相關的取捨

經營目標	多元生態系統服務	木材生產	生物多樣性保育
經營目的	維護及加強多元生態系統服務的韌性，以滿足大多數利益關係人。	從永續木材生產，盡可能賺取高收益。	保護並增加森林的多樣性。
策略一	執行群狀伐採，以疏開林冠，改進林下的受光條件。保持所有更新種，保留大的標示樹木。在孔隙種植其他樹種。	透過開闊的樹冠，種植的二種樹種，轉換純林為兩個樹種的混交林之連續森林覆蓋。	不執行調適性經營，維持純林原來狀態。以自然干擾為驅動因子，以利於天然更新，改善結構多樣性。
策略二	執行單木伐採，以形成結構多樣性，以轉化為連續的森林覆蓋。透過移除不同高度的樹木，促成結構多樣性。	在純林皆伐前，對純林，以縮短輪伐期及極少量疏伐，進行集約經營。	積極復育孔隙及單木伐採，創造枯死木存留林地，並增進光照條件。種植其他闊葉樹種。
主要的取捨	生態系統服務之間	短期與長期韌性	社會次系統與生態次系統

另種策略進行評價。要成功達成評估經營策略，森林經營往往需要採用長期的評估，以及運用經營的循環適應過程。如果所選經營策略的結果都不理想，則應回到步驟7與利益相關人重新審視經營策略；如果結果滿意則可以進行步驟8的韌性評估。

7. 修訂經營目標及其策略

如果經營策略未能實現經營目標，應依據過程所學習及獲得的資訊，進一步理解SES未來可能的發展，納入新經營策略的規劃；由過程所獲的新資訊可以改變利益相關人所選的經營策略，甚至對新的經營目標的看法，因此回到步驟3，與利益相關人共同修訂，重新定義經營目標及其策略。

8. 執行韌性評估

針對森林地景的現狀及未來發展，進行不同經營策略對SES韌性的影響評估，據以得知採取不同策略的韌性分數有多高。評估係依據表2中所有原則與準則的指標，透過所選的指標及其在指標反應曲線上的移動(圖3)，

與利益相關人共同檢查經營時間段內的各個指標值。之後進行指標的平衡分析，以求得合適的韌性分數。在平衡分析階段，須與利益相關人共同演練，平衡所得的SES韌性分數高低，對利益相關人來說是否滿意。如果利益相關人認為某些經營策略不合適，會導致將某些備選的經營策略被排除。如果平衡演練結果導致意見分歧，則需要回到步驟3，再次修訂經營策略。

如果平衡結果滿意完成，確定備選經營策略後，此時的韌性評估係透過計算個別經營策略的指標的平均韌性得分來完成。評分過程可在專家指導下，應用多準則決策工具(例如PROMETHEE II的演算法)，同時分析多個指標；利益相關者依其偏好，對不同指標進行加權，進行韌性分數的計算，成對比較不同經營策略，從而得出不同經營策略的韌性相對評級與排序，決定可以接受的經營策略。如果評估結果未能得到合理的韌性，應再次修改。

9.修正韌性評估

在選定可以接受的經營策略後，應將整個韌性評估的決策過程與結果公開，讓利益相關人了解SES不同部分的韌性分數，同時顯示高韌性部分和脆弱部分，以便能進一步獲得同意預備選定的經營決策。如果韌性評估的結果遭否決，則應與利益相關人，特別關注SES中指標值顯示韌性分數較低的脆弱部分，回到步驟3，再次定義新的經營策略。

10.同意接受經營策略

如果利益相關者同意韌性評估的結果，選擇實施的經營目標和策略。後續應持續監測實際經營的結果，以了解SES的動態發展情況。SES的持續動態足以對SES韌性造成重大變化，因此本框架應每5到10年定期重新執行。⊗

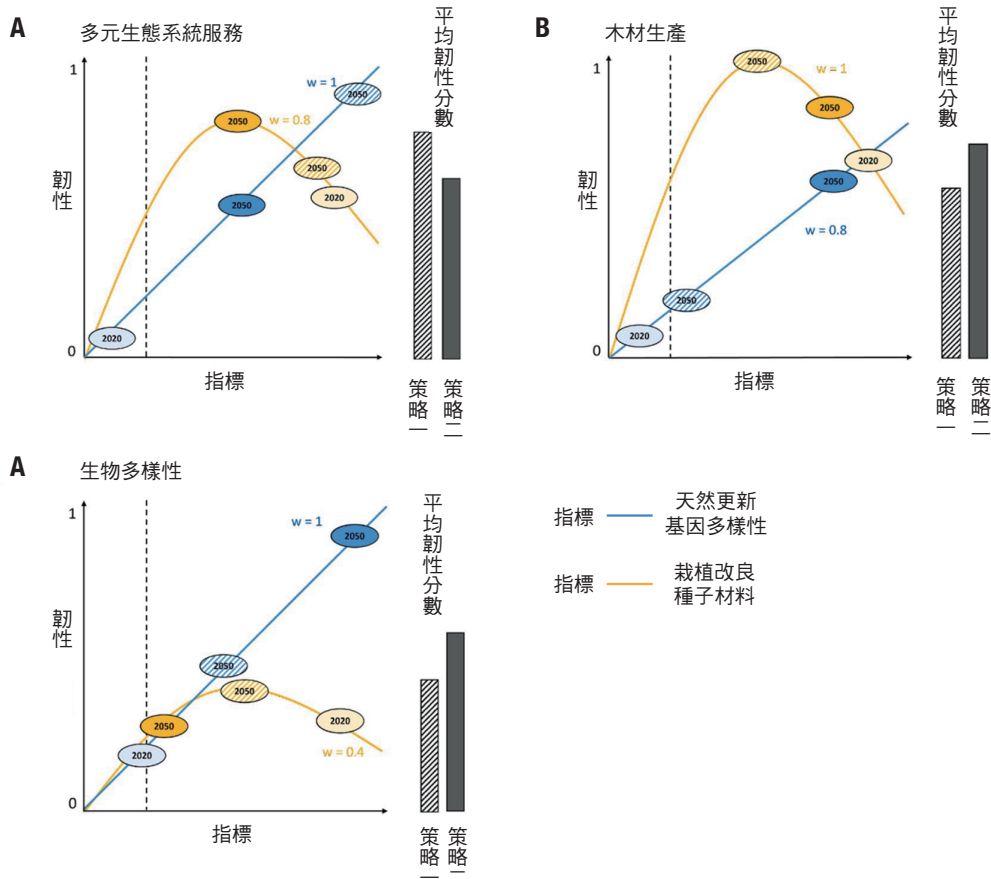


圖3 說明指標的權重和不同的經營目標，會影響兩個指標的韌性的結果。圖中所提供的指標值符合表 3 中描述的3個經營目標。實線代表指標反應曲線，實線的高度代表指標對經營目標的權重。虛線表示提出的最小指標門檻值。斜線和實心橢圓區分別在經營目標下，代表某個時間點的两个指標(藍色表示：天然更新的基因多樣性；橘色代表：改良種子材料的栽植)韌性值，斜線和實心條狀圖表示兩種經營策略(M.S. 1 和 M.S. 2，如表3的策略一和策略二)指標的平均韌性得分(Nikinmaa 等，2023) (謝漢欽 繪)