

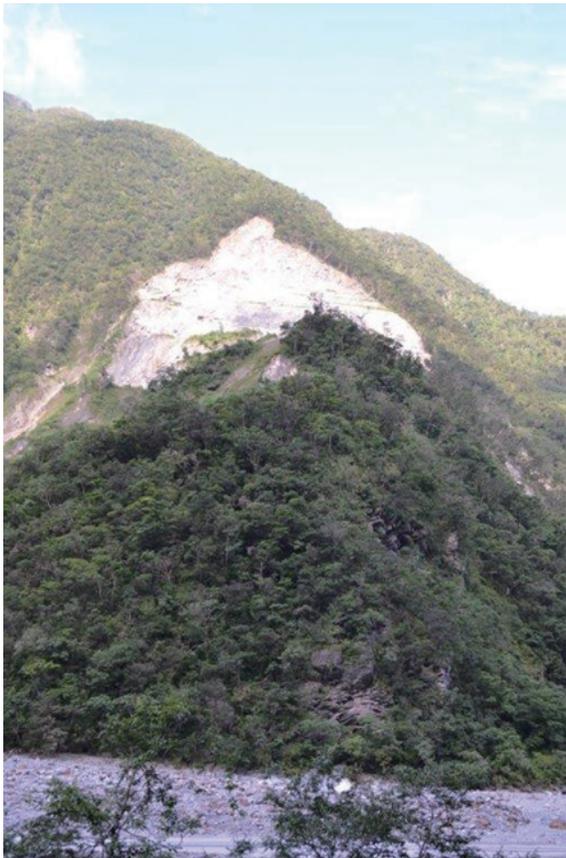
圖 / 大山影像

保安林礦區生態系 服務價值評估與生態補償架構

文、圖 | 林幸助 | 國立中興大學生命科學系特聘教授
柳婉郁 | 國立中興大學森林學系特聘教授
蘇義淵 | 國立中興大學法律學系助理教授
曾偉君 | 國立中興大學應用經濟學系教授
陳添水 | 行政院農業委員會特有生物研究保育中心助理研究員
薛美莉 | 行政院農業委員會特有生物研究保育中心研究員 (通訊作者)

臺灣國有林地內計有129處放租作為採礦使用，其中位於保安林者計13處，面積約145公頃。保安林內，開礦面積雖然不大，但是礦產的開發與利用會擾動地表，破壞原有環境，造成水土流失、植被與生物棲地等不可回復性的衝擊。在國際上大都透過法規與稅收建立礦產資源有償使用的制度，而臺灣目前仍需法令與森林服務價值評估等科學數據的支持，才能據以徵收生態補償費用。

臺灣國有林地內計有129處承租作為採礦使用，其中位於保安林者計13處（分屬10家礦業權者），面積約145公頃。保安林內，開礦面積雖然不大，但是礦產的開發與利用會擾動地表，破壞原有環境，包括水土流失、植被與生物棲地等不可回復性的衝擊。因此自2003年以後，林務局對於新設礦權案件均嚴格審查，並建議礦務局不得在保安林內新設礦權。又礦業使用國有林地租金已改以市價查估，且開礦作業結束後進行至少6年的復育造林等措施，但學理上，森林因採礦而喪失之水源涵養、生物多樣性及國土保安等價值，都尚未列入開礦者應負擔之費用，亦即開礦者並未承擔生態損害補償之責任，對於國土保安之損害也僅以執行水土保持計畫為主。



和平北溪礦區。

目前礦業用地收取費用包括礦業權申請費、礦業權費、礦產權利金、水土保持保證金、山坡地開發利用回饋金及景觀特別稅等項目。為了對開礦或開發者收取生態環境成本價金，須在科學研究之量化基礎下，詳細計算生態損害補償之費用，將生態系服務價值予以貨幣化，此計算結果將可提供政府作為訂定生態損害補償費用或環境成本價金的參考。本研究針對林務局業務職掌相關之法令（森林法、野生動物保育法、文化資產保存法）與國內學者所建議之森林生態系服務，發展國有林生態系服務價值評估架構，用以作為研議收取生態補償費用之依據，以維護環境正義，落實國土復育之執行。

問題研析

本計畫持續透過與權益關係者之協商溝通、發展臺灣森林生態系服務價值評估架構需考慮之問題：

一、臺灣位於亞熱帶，生物多樣性高，氣候高溫多雨、山高陡峻。若要合理評估森林生態系服務價值，應建立臺灣本土生態環境資料，尋求量化之基準。

二、劃編保安林係為維護國土安全、保護人民土地及生命財產安全，以及改善民眾之生活環境為主要目的。結合理論及實證，估計礦區開採對國土保安（土壤流失及土石流風險）應付之價值。

三、目前國際上大都透過法規與稅收建立礦產資源有償使用的制度，例如中國實施《礦產資源補償費徵收管理規定》，英國規定每噸礦產徵一特定稅收，作為復育基金。就我國的法令現況來看，未來應針對估算補償價金之收取與應用之相關法令規需進行修正。

保安林採礦之歷史

臺灣為年輕的褶皺造山地質，加上位處太平洋邊緣，地震及颱風發生頻繁，每逢颱風豪雨，即容易發生大規模的洪水及土石流，因此保安林類型中，以水源涵養與土石流捍止保安林所占比例最高。臺灣自日治時期即開始建置保安林制度，1907年正式公告高雄打狗山（壽山）為第一處水源涵養及土砂捍止保安林，至今依《森林法》（第22條、第24條）為公益目的所指定之特別森林，總共編列11類、46萬7千公頃保安林，其中約145公頃保安林地放租10家礦業權者作為採礦使用，佔全國保安林總面積0.03%。雖然開礦對於地表的擾動與國土保安之目的有極大之衝突，惟保安林中礦業權之取得有其時空背景因素。

臺灣保安林採礦歷史可以溯及1959年以前，1959年《礦業法》中即明定保安林內採礦規定，1966年經濟部為促進礦產資源之加速開發，頒布「保安林地內礦業案件處理辦法」（目前已廢止），現有10家礦業權者皆在這段時間（即於1985年以前）取得礦權。《森林法》於1985年增訂第9條，明定於地質穩定、無礙國土保安及林業經營前提下，報經主管機關會同有關機關實地勘查同意後，森林內始容許探採礦或採取土石。並於1989年發布「保安林經營準則」，訂定保安林內探採礦應以無礙國土保安及水土保持者為限。2003年為強化國土保安，減少開發，修訂保安林經營準則，對於既有的保安林採礦採取更嚴格的審查制度，需經礦業主管機關、學者專家、當地鄉（鎮、市）公所等有關機關及住民代表實地勘查，認屬地質穩定、無礙國土保安及林業經營，始得展開環境影響評估、水土保持計畫作業，開採礦產。另外，對於新設礦權案件，林務局均嚴格審核，要求避開保安林地，並建議礦務局不

再於保安林內新設礦權。

由於保安林除具有森林生態之服務價值外，藉由植被的覆蓋、減少沖蝕保護土地，達到保全民眾生命與財產之目的。因此，對於保安林礦區之生態補償，除考量森林生態服務價值外，應加入國土保安等項目之價值估算。

保安林生態價值評估標準作業流程

森林生態系統服務係指森林生態系所形成及所維持國人賴以生存的自然環境條件與效能，以及人類直接或間接從森林生態系得到的所有收益。評估森林生態系中不同服務間之關係，可以深入瞭解不同生態系服務相互關聯的作用因數和作用機制，最終建構並量化生態系服務價值的模型，可用於指導人類合理明智利用森林之自然資源之基礎。根據收集的資料，首先對森林生態系現狀進行調查，在瞭解森林生態系現狀基礎上，評估和量化森林生態系提供的廣泛多樣的生態系服務價值。森林生態價值評估流程圖見圖1。

在森林生態系統現狀評估的基礎上，可藉由建構數學模型來量化大範圍及長時間尺度森林為人類所提供廣泛而多樣的生態系統服務價值，進而評估森林生態系統對於人類社會與經濟福祉的貢獻。不同生態系服務功能間存在權衡和協同的關係，需要對森林生態系服務進行權重分析並排序，確認每項生態系統服務對於林地的貢獻率。參照「千禧年生態系統評估報告（Millennium Ecosystem Assessment, MEA）」以及「生態系統暨生物多樣性經濟學倡議（The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB）」，評估體系和標準，不同生態系統服務的權重分析框架圖見圖2。

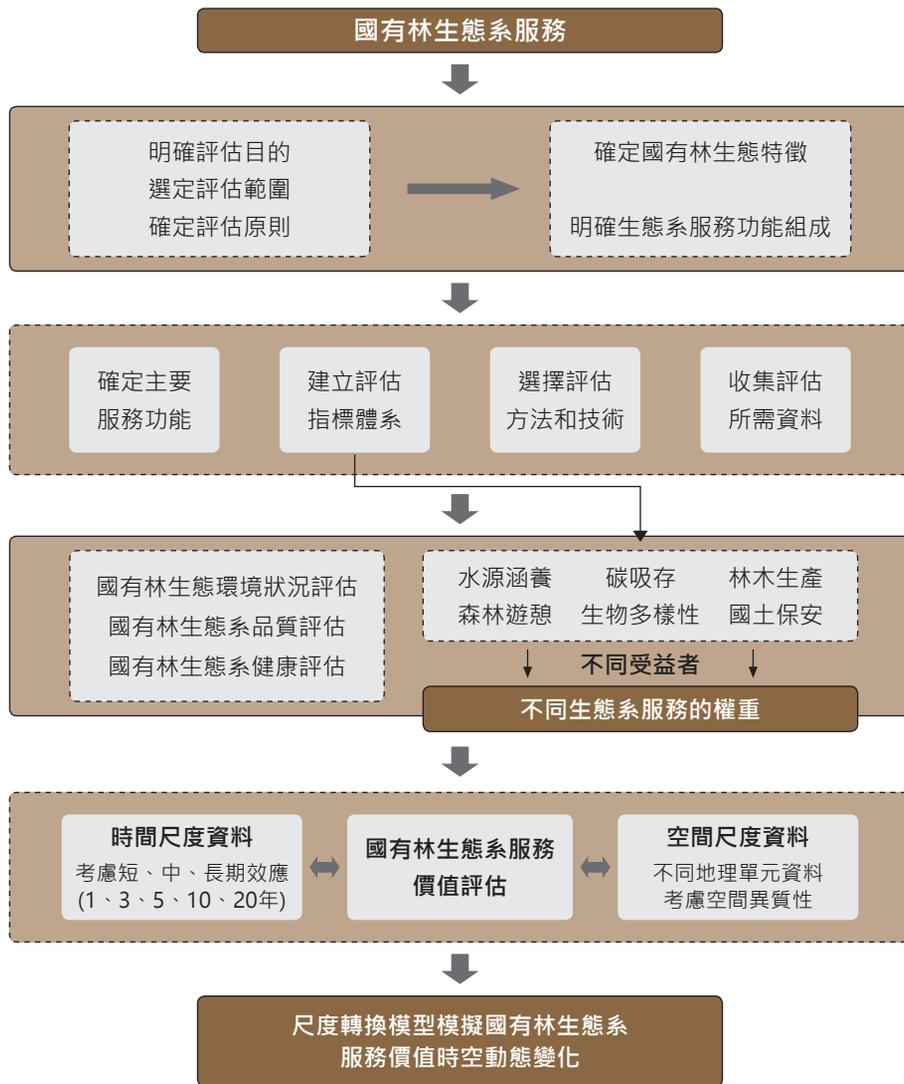


圖1、森林地生態系統服務價值評估流程圖。

結合篩選的森林生態系服務，納入基於不同受益者關注程度的生態系服務權重值，可得到小尺度範圍內林地生態系統服務的評估價值。時間尺度與空間尺度的變化會影響森林生態系統的服務價值，因此需構建適宜的尺度轉換模型，來掌握森林生態系統服務過程的變化規律，進而得出大範圍不同時空尺度範圍內森林生態系統服務價值演變規律，為未來實施不同森林地不同時空格局之生態補償制度等工作提供科學研究之基礎。

森林生態補償費用執行情序

法理依據

參照國外法例，生態補償（Ecological Compensation）跟生物多樣性抵換（Biodiversity Offset）都是經常被使用的政策工具，目的是用來減緩生物多樣性的消失率。基於污染者付費原則，開發者必須為了因開發所造成的環境減損（Environmental Degradation）付出賠償。在林務局所掌

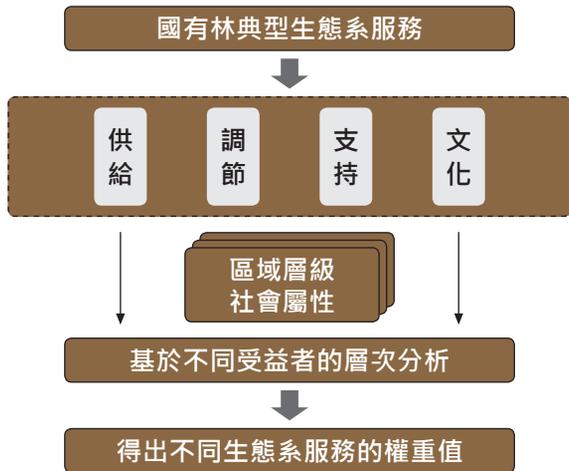


圖2、基於不同受益者的森林生態系服務權重分析。

管「生態補償」應屬於生態系統服務給付（Payment For Ecosystem Services, PES）。因此，若未來課徵生態補償費，將可視為生態系統服務給付以保育森林與林地之生態資源。

生態服務效益費用

一、收取項目

依據TEEB列出之17項森林生態系服務功能，若以林務局主管職責包括森林生產、水源涵養效益、碳吸存效益、森林遊憩、國土保安、以及生物多樣性等6種服務功能為主要價值評估標的。其中國土保安效益、水土保持保證金及景觀特別稅有可能重複收取，且與當地居民之生活相關，因此屬於區外補償（代收），其餘5項（森林生產、水源涵養、碳吸存、森林遊憩以及生物多樣性）視為區內徵收。因此建議林務局林班地礦區之租用，除土地租金外，應視各林地之環境狀況收取生態損害補償。

二、時間軸的設定

在《礦業法》第13條採礦權以20年為限。期滿前一年至6個月間，得申請展限；每次展限不得超過20年。故本研究評估20年以及每年的森林生態系服務效益，作為生態補償費用計算之基準。

生態損害補償費用評估流程

評估流程建議由承租單位於申請時檢附礦業用地生態損害補償評估說明書，再由林務局進行審核，並邀請專家進行現場查核，經專家會議後再核定林地租金（包括生態損害補償費用）。

森林生態系服務價值之估算

符合林務局主管執掌6種森林生態價值分別為林木生產、碳貯存、水源涵養、森林遊樂、國土保安以及生物多樣性等。各項生態系服務價值可依據公式算出價金（亦即每公頃每年生態系服務價值），此價金建議為收費上限。至於實際收取多少，可依專家會議或租金比例加權決定。

森林生態系服務效益之估算公式

一、林木生產

林木生產效益是以估算活立木潛在的價值為主。目前常用立木價值計算方法有收益法、成本法、市場價值法等。一般採用市場價值法，根據當地林區森林資源統計資料和主要樹種立木市場價，計算活立木蓄積年增長量價值（許紀泉，2006），公式計算如下：

$$FP_i = S_i \times v_i \times P_i$$

FP_i 為區域森林生態系統第*i*類林分類型木材價值（元）， S_i 為第*i*類林分類型的分布面積（ha）， v_i 為第*i*類林分單位面積的淨生長量（ m^3/ha ）， P_i 為第*i*類林分的木材價值（元/ m^3 ）。

二、碳貯存

森林碳貯（吸）存生態系統服務價值評估上，以效益移轉法之單位價值移轉作為效益評估方法。林木的碳貯量推估模式，可將林木材

積藉由基礎木材密度換算出林木生物量，再利用林木生物量與地上部、地下部生物量的擴展係數與碳含量等轉換係數，估算出碳貯存量，採用IPCC（2006）碳貯存量估算式，如以下公式所示：

$$C = V_t \times BD \times BEF \times (1+R) \times CF$$

其中C（Carbon Storage）為林木每公頃碳貯存量（ton C/ha）， V_t 為林齡為t時每公頃之林木材積（ m^3/ha ），BD（Basic Wood Density）為基礎木材密度（ ton/m^3 ），BEF（Biomass Expansion Factors）為林木生物量的擴展係數，R（Ratio of Belowground Biomass to Aboveground Biomass）為根莖比，CF（Carbon Fraction）為碳含量比率。

$$QRCS = QRC \times AR$$

以上公式係藉由效益移轉法估算森林之碳貯（吸）存效益，利用森林二氧化碳貯存量（ $ton CO_2/ha$ ）或二氧化碳吸存量（ $ton CO_2/ha/年$ ）之QRC與森林面積AR（ha）相乘，便會得到森林總二氧化碳貯（吸）存量QRCS。估算出森林總碳吸存量後，本研究選擇碳價格與邊際社會損害成本做為評估森林碳吸存效益之參數：

$$VRC = QRCS \times PC$$

公式中，係以前述公式得到的森林二氧化碳吸存量，分別乘以碳價格與邊際社會損害成本PC（元/ton），便可得到森林總碳吸存效益VRC（元/年）。

三、水源涵養

本研究主要係以水文平衡收支法進行水源涵養量之評估並依據Ninan and Kontoleon

（2016）之模式進行估算：

$$Q_p \times R_{ET} = Q_{ET}$$

$$Q_p \times R_{IE} = Q_{IE}$$

研究區域內每年平均降雨量 Q_p （mm）分別乘以該區域平均蒸發散率 R_{ET} 與逕流率 R_{IE} ，即可得到區域內每年平均蒸發散量 Q_{ET} （mm）以及年均逕流量 Q_{IE} （mm）。

$$Q_v = Q_p \times (1 - Q_{ET}/Q_{IE})$$

$$Q_v \times A = Q_w$$

Q_v 為森林區域每單位土壤之蓄水量（mm），利用年均降水量、蒸發量及逕流量計算出單位蓄水量，將單位蓄水量與森林區域總面積A（ha）相乘，經單位換算後便可得到該區林地留存之總儲水量 Q_w （ $m^3/年$ ），於水文平衡收支法中此為森林總水源涵養量。

$$(R_c + C_{TM}) \times D \times (1 - (1 + D)^{-L_R})^{-1} \div Q_R = C_{RU}$$

$$Q_w \times C_{RU} = V_{WC}$$

在水源涵養價值評估部分，本計畫係以重置成本之水庫單位容積造價進行估算，以上公式係以臺灣水庫建造支出 R_c （元），水庫設施可運行壽命 L_R （年）與折現率，以及該水庫年均維護成本換算為總維護費用現值 C_{TM} （元），前述兩項相加後以折現率計算年金，接續再將此年金除以該水庫總蓄水量 Q_R （ m^3 ），可得到水庫單位容積造價 C_{RU} （元/ m^3 ）。接續將所得之森林涵養水源量 Q_w （ $m^3/年$ ）與水庫單位容積造價相乘，即可估算出此區域森林涵養水源效益價值 V_{WC} （元/年）。

四、森林遊樂

本研究採用Meta分析函數移轉法以估算森林

遊樂效益，根據效益移轉法估算森林遊樂價值之一般形式如下：

$$WTP_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{METHOD}_{ij} + \beta_2 \text{SITE}_{ij} + \beta_3 \text{ACTIVITY}_{ij} + \beta_4 \text{SOCECO}_{ij} + \epsilon_{ij}$$

以上公式利用實證研究文獻中所估算之單位願付價格WTP（元/人/年），作為此函數的應變數；而作為函數的自變數包括METHOD為方法變數（TCM、CVM等），SITE為地點特徵變數（地點資源類型等），ACTIVITY為遊憩活動變數（賞鳥、登山等），SOCECO為遊客之社會經濟變數（性別、年齡、教育程度、平均年收入等）。 β_0 為常數， β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 為自變數之係數， ϵ 為誤差項。下標ij為第j個遊憩區域之第i個結果；Meta迴歸模型建立並估計後，可依序將不同相關變數之樣本均值分別乘以Meta迴歸方程式對應的係數以求出政策地點之單位消費者剩餘（元/人/年）。

五、生物多樣性價值

生物多樣性效益由於不具次級資料，因此其估算必須藉由問卷蒐集資料結合封閉式單屆二元選擇波比（Probit）模型估計，採用標準的兩階段全國抽樣調查。

六、國土保安價值

本研究採用條件評估法（Contingent Valuation, CVM），以面訪方式，對兩個礦區鄰近居民進行問卷調查並估計國土保安（土壤流失及土石流風險）損害值。

實際收取租金與林地市價及生態系服務價值之公式

實際收取租金與林地市價及生態系服務價值之關係如下式所示，以後各年租金可依照林業貸款利率調升。



礦區邊坡植生復育。



蘇澳地區停礦植生。



採礦對於水質的污染。

每公頃每年實際收取租金＝

（千分之四×每公頃林地市價）＋（專家會議決定之百分比×每公頃每年林木生產價值）＋（專家會議決定之百分比×每公頃每年碳貯存價值）＋（專家會議決定之百分比×每公頃每年水源涵養價值）＋（專家會議決定之百分比×每公頃每年森林遊樂）＋（專家會議決定之百分比×每公頃每年生物多樣性價值）

結語

目前臺灣礦產開採大部分位在山區，多數土

地屬於林務局所管轄之森林。森林因開採礦而喪失之水源涵養、國土保安及生物多樣性等價值，目前都尚未列入開礦者所應負擔之經費，因此就林務局業務職掌相關之法令（森林法、野生動物保育法、文化資產保存法），建議將碳吸存、維護生物多樣性、水源涵養、森林遊樂、國土保安（水土保持）、林木生產價值等6項森林生態系服務價值，作為臺灣森林礦區生態損害補償費用之計算標準，以維護環境正義，落實國土復育之執行。🌲



圖 / 大山影像