森林碳權交易
財務可行性分析

文／吳孟珊[1*]、王培蓉[2]、詹為巽[1]
圖／吳孟珊[1]

森林碳權交易是一種透過市場手段來減少溫室氣體排放的機制。其基本原理是通過保護現有森林、植樹造林或加強森林經營（Improved forest management, IFM），通過森林的生長吸收二氧化碳轉化為碳儲存，再將這些碳儲存量化成為可交易的碳權。由於植樹造林有助於減少大氣中的二氧化碳濃度，對抗氣候變遷，同時能夠促進生物多樣性保護和水土保持，改善當地生態環境，並為當地社區創造就業機會，改善民生等多重效益，使得森林碳權成為因應氣候變遷的重要策略。

執行森林碳權交易，財務分析至關重要，因為它能幫助投資者量化森林碳權的收入、成本和利潤，確定其是否具有可持續的盈利能力，並識別潛在的風險，從而幫助決策者做出合理的投資選擇。傳統林業經營只著重林木生產的收益，碳儲存效益並未被彰顯，國內目前尚未有森林碳權交易的商業模式，森林碳權交易在財務上是否可行？本文首先將簡介目前全球碳權交易模式與碳價，其次蒐集森林碳儲存量、國內碳費、碳匯監測認證成本、以及造林成本等資訊，以新植造林活動為例，評估森林碳權交易的可行性，提供相關人員進行森林經營決策之參考。

[1]林業試驗所森林經營組
[2]林業試驗所技術服務組
[*]通訊作者（wumengshan@tfri.gov.tw）

全球碳權交易模式與碳價

全球碳權交易市場可以分為合規市場（compliance market）和自願市場（voluntary carbon market），兩者各有其獨特的特點和功能，在全球碳減排努力中都發揮著重要作用。

合規市場是由政府或國際協議建立的強制性碳市場，要求企業在法定限額內減少碳排放，超出部分必須購買碳權以進行補償，主要參與者是碳排量大而受法規約束的企業。合規市場下的執行機制可分為碳排放交易體系（emissions trading system, ETS）和碳稅。排放交易體系透過總量管制發放可交易的排放單位來限制受約束企業的排放量；碳稅則對所產生的排放徵收費用。截至2024年4月的資料顯示碳排放交易體系碳價最高的為歐盟（EU）ETS 61.3 USD/tCO_2e，最低的為印尼（Indonesia）ETS 0.6 USD/tCO_2e（圖1）。碳稅最高與最低的國家為烏拉圭（Uruguay）及

碳排放交易體系的碳價

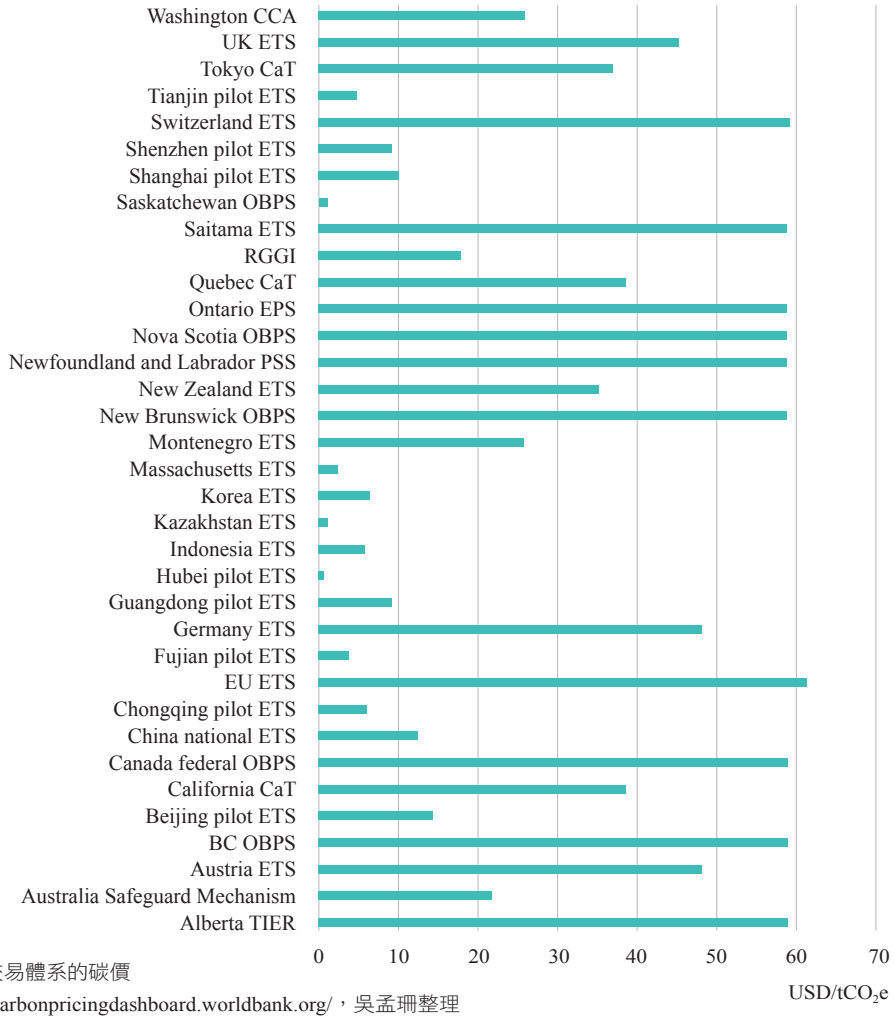


圖1　全球碳排放交易體系的碳價
資料來源：https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/，吳孟珊整理

烏克蘭（Ukraine），價格分別為167.1、0.7 USD/tCO_2e（圖2）。臺灣目前的碳費新臺幣300元/tCO_2e，以US$1=NT$33換算，每公噸二氧化碳當量的價格約9美元。鄰近的日本、新加坡碳稅為1.9、18.4 USD/tCO_2e，韓國的ETS為6.3 USD/tCO_2e。

自願市場允許企業、組織和個人在沒有法律義務的情況下購買和銷售碳權，以抵消其碳排放。參與者包括希望改善其環境形象的公司、非政府組織和個人。這些參與者通過購買碳權來支持環保項目，並展示其對氣候變化的承諾。主要的獨立碳權機制（或獨立標準）如Verified Carbon Standard 和Gold Standard。2023年林業和土地利用自願性市場碳交易價格約11.21 USD/tCO_2e （Forest Trends' Ecosystem Marketplace, 2023）。

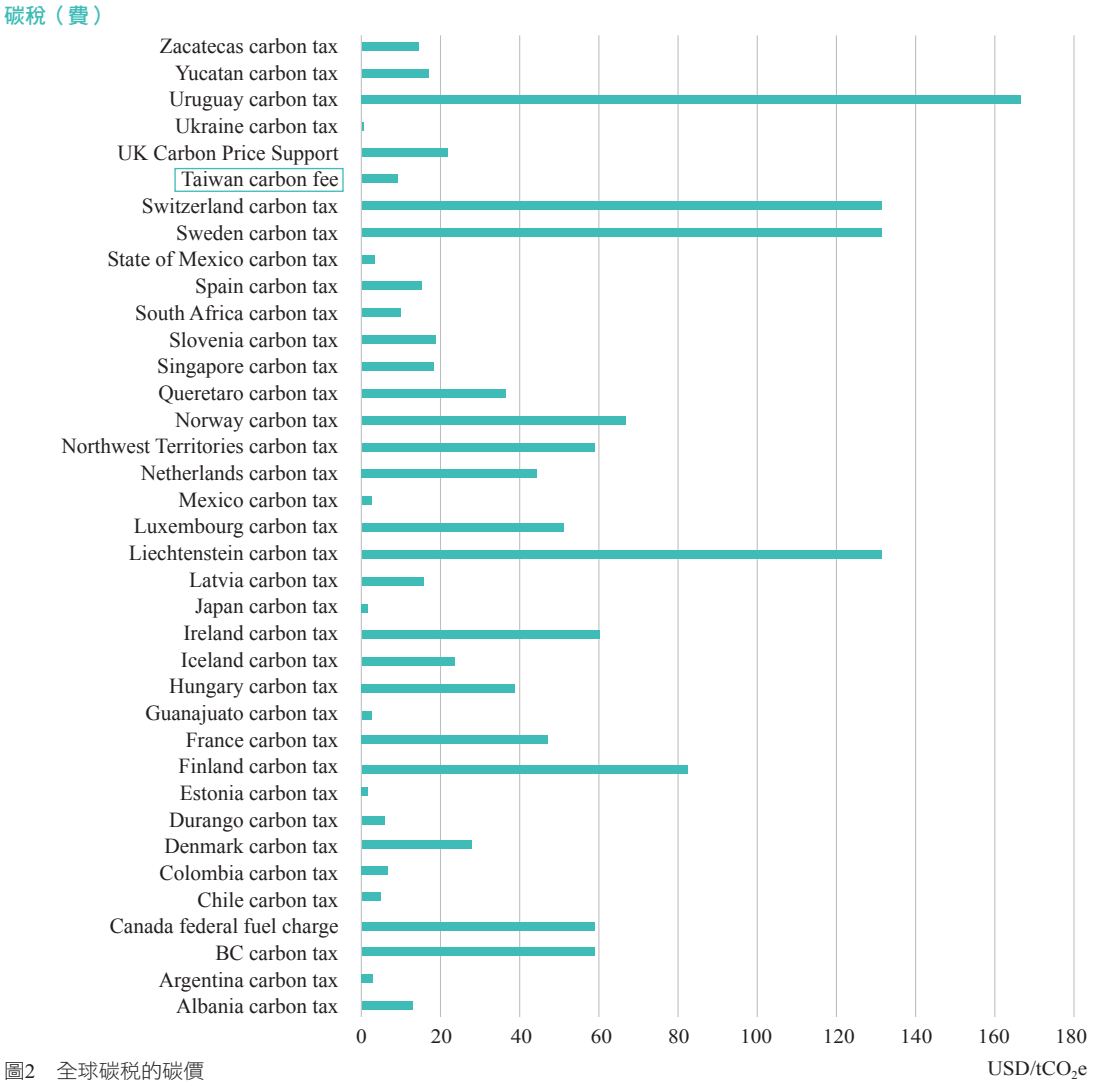


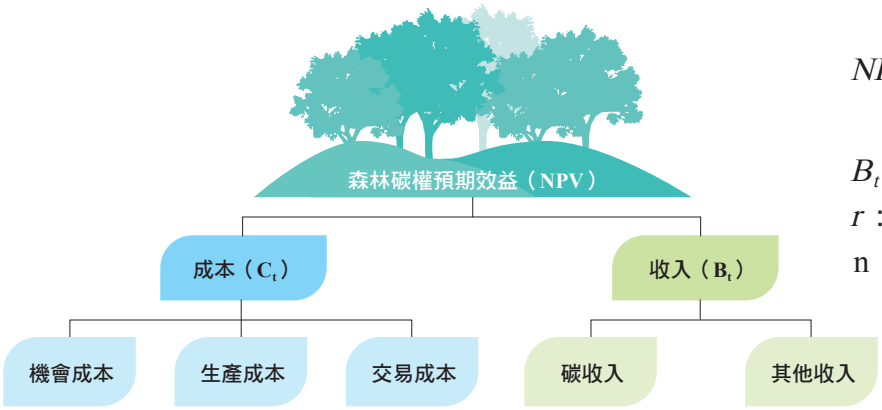
圖2　全球碳稅的碳價

資料來源：https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/，吳孟珊整理

目前OECD國家（美國、加拿大、澳洲、紐西蘭、日本、韓國、瑞士）和中國是合規市場最活躍的。相較之下，非OECD（尤其是拉丁美洲）產生的自願性碳抵銷量最多。隨著合規市場與自願市場、國際間與各國國內市場不斷發展，許多國家允許受監管實體使用國際或國內碳信用來履行其溫室氣體義務，以增加靈活性。在臺灣，目前採用碳費（carbon fee）制度，徵收費用必須專款專用，徵收對象為溫室氣體年排放量達2.5萬公噸以上的電力及製造業，企業可以國內自願減量額度及國外碳權抵減碳費，抵扣上限分別為10%與5%。

森林碳權交易財務可行性評估方法

本文以淨現值（net present value, NPV）為決策指標，評估森林碳權交易的效益，效益評估使用的資料包括造林方案期間的現金支出（碳成本）與流入（碳收入），淨值大於零代表方案可行（圖3）。森林碳成本大致由機會成本、生產成本與交易成本組成。機會成本是因為經濟資源不能用於森林創收活動而放棄的利益，主要是指土地的機會成本，通常用地租來代替，因林地每年的地租占比極小，暫忽略不計入。生產成本包括勞動成本、材料成本和資本折舊等項目，生產成本的數據來自研究團隊2010年對屏東地區平地造林成本的調查結果。交易成本包括：（1）設計成本；（2）實施成本；（3）驗證或認證費用，其中設計成本包括監測技術和驗證協議的開發、基準和專案情境測量方法以及可行性研究，以確保專案產生積極的社會和環境效益。實施成本包括勞動力、能力建設、當地合約或地點的選擇、社區會議、技術、管理計劃、土地租賃或登記合法化、向受益人分配資金/補貼、種植材料和其他投入的分配等費用，還需要驗證和認證費用，以向投資者證明估計的碳水平已被封存（Milne 2002）。交易成本於森林碳交易總成本的占比很大，Pearson（2014）等人估計每噸二氧化碳交易成本為0.09～7.71美元或預期收入的0.3～270%。由於交易成本受交易機制



$$NPV=\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t-C_t}{(1+r)^t}$$

B_t-C_t：第t年淨現金流量

r：貼現率

n：方案年份

圖3　森林碳權效益評估組成
資料來源：吳孟珊整理

與現場條件影響而異，Grafton等人（2021）建議交易成本可以用總生產成本的占比進行估算，目前國內尚無森林碳權交易資料，本研究保守估計，以生產成本的20%作為交易成本。碳移除量以2024年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告7種主要林型的平均每年碳移除量9.38 CO_2e進行計算（竹林不計入）。

研究使用碳成本與碳移除量等數據，設定不同方案（表1）計算淨現值大於0時相對應的碳價，比較計算的碳價是否小於目前公告的碳費300元/CO_2e，具體評估碳權交易在財務上的可行性。此外，設定不同折現率與碳收入時間點，評估這些變數產生的影響。

森林碳權交易財務可行性評估結果

有關森林碳權交易的財務可行性，方案一為成本最低的方案，僅考慮造林成本，無交易成本與機會成本，於第20年一次取得全部碳收入，當折現率分別為1～4%時，淨現值大於0時對應的碳價為3,089～4,646元（圖4）。這個結果反映折現率越高，碳價越高，原因是當利率越高，資金的時間價值也變高，未來的收益必須更大才能補償資金的使用。此外，當折現率1%時，對應的碳價3,089元，遠高於目前公告的碳費，顯見若無其他共同效益（co-benefits）（如就業和／或培訓機會、社區福利、保護生物多樣性等），單純的碳交易就財務上而言缺少經濟誘因。

表1　森林碳權效益評估方案

方案	造林成本	交易成本	碳移除量	碳收益時間
方案一	20年約50萬	0	9.38×20	第20年
方案二	20年約50萬	0	9.38×20	第1年
方案三	20年約50萬	0	9.38×20	第5、10、15、20年
方案四	20年約50萬	50萬×20% 1、20年各5萬	9.38×20	第20年

資料來源：吳孟珊整理

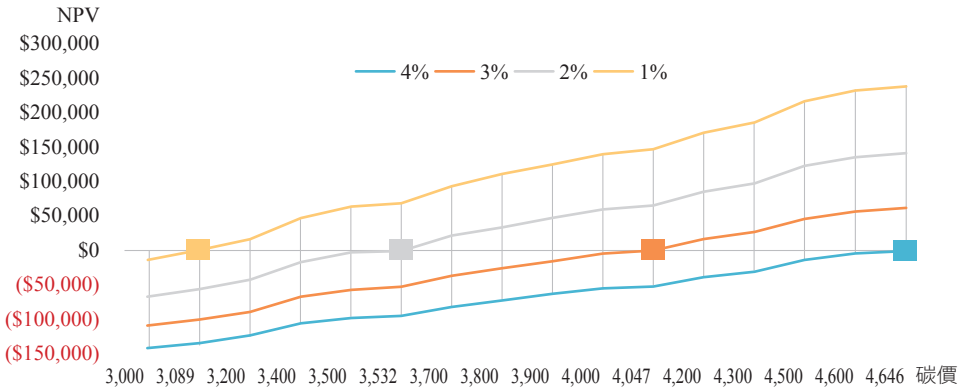


圖4　20年期造林專案，僅考慮造林成本，利率、碳價與淨現值的關係
資料來源：吳孟珊整理

由於碳吸存計畫的成本通常在早期產生，而碳效益往往會大幅延遲，因此在方案一的基礎上，加入方案二於第1年取得碳收入，以及方案三於第5、10、15、20年分次取得碳收入的設計，具體比較碳收益取得時間的影響，結果顯示在利率為4%時，方案一相對應的碳價最高（4,646元）；方案二相對應的碳價最低（1,496元），方案三於第5、10、15、20年分次取得碳收入相對應的碳價（2,425元）介於方案一與方案三之間，突顯碳交易取得時間越晚，相對的成本也越高。

方案四是在方案一的基礎上，加入交易成本，因現行方法學規定專案註冊前及申請查證前需進行監測，因此將交易成本發生時間點分別設定於第1年與第20年，費用設定為20年總生產成本的20%，以折現率4%的方案為例，折現率大於0時的碳價增加約830元（5,476～4,646）元，增加費用遠大於目前的碳費，這結果反應目前的碳費不但無法與交易成本達成平衡，更遑論權重更高的造林生產成本。

結語

本研究以淨現值為決策指標，評估新植造林的碳權交易在財務上是否具經濟誘因。研究結果發現僅考慮造林成本，折現率1%，淨現值>0對應的碳價3,089元，遠高於目前告的碳費，也高於國際自願性市場林業和土地利用的碳價，就小林主而言，單純的碳交易不具經濟誘因。

森林碳權專案除固碳效益，還會產生專案以外的共同效益，這些共同效益為部分買家參與自願性碳市場的關鍵原因（Hamrick & Gallant 2017），目前衡量生態系統復育的標準也不斷發展。相反的，森林碳權以單一物種或快速生長的人工林形式出現時，可能會導致生物多樣性喪失，甚至土壤水分枯竭（Carton & Andersson 2017），這些伴隨而來的影響也應審慎評估。

森林碳交易由於方案時間長，碳交易發生的時間點與折現率對結果會有極大的影響，林業碳交易市場機制是採用事後支付，即產生碳權抵銷後進行付款，由於未來價格的不穩定，增加投資回報的不確定性，如果投資者預見到高風險，對森林碳權計畫可能就會望而卻步（Coleman 2018）。此外，由於氣候變化，自然變得越來越不穩定，導致火災、病蟲害、風害等自然干擾加劇且不可預測，可能對降低長期碳儲存能力，隨著自然干擾出現頻率日益增加，將干擾納入風險評估，對於未來財務分析極為重要。

森林碳吸存的成本因地點和項目的不同而有很大差異，前人研究發現在全球範圍內，不同規模的森林碳專案的成本範圍在0.03～51 USD/tCO_2e之間（Richards and Stokes 2004），Tang等人（2016）根據緩解策略和地點得出森林碳專案的成本在3～130 USD/tCO_2e，造成差異的理由包括專案方法學的不同、額外性和基線的設定、碳吸存成本的建模設定等（Grafton et al. 2021），不同造林規模也可能影響成本結構，未來進行碳權效益評估時應注意各項設定條件。