

森林碳匯如何給付？購碳與碳租政策之理論分析

文 ■ 柳婉郁 ■ 國立中興大學森林學系副教授

徐 寬 ■ 國立中興大學森林學系學士班

一、緒論

人為排放溫室氣體增加是全球暖化的主因，為了減少溫室氣體排放，2006年環保署提出「溫室氣體減量法」，終於在2015年6月經立法院完成「溫室氣體減量及管理法」三讀通過，並於同年經總統發佈與實施。我國政府目標訂為2025年降至2000年總排放總量，全國2050年溫室氣體排放量應降至2005年排放量50%以下，此為臺灣溫室氣體減量法規的重大里程碑，未來將搭配境外碳權、碳交易、無償核配額等法規以確實執行國內各部門溫室氣體減量。「京都議定書」之減量機制中，將「排放減量」與「森林碳匯」視為相關機制，森林碳匯主要透過植物光合作用，將碳與水轉換為醣類，藉由植物體將碳固定，以減少大氣中濃度；「碳匯」屬農林業部門在減量政策上應積極努力之目標，如植樹造林，透過農地碳匯管理減少翻耕，重新累積土壤中流失碳等。

依據許多文獻指出，私有地主在土地使用之決策上僅能達到私人利潤極大之目標，一般沒有達到土地生產潛能與效率，或社會福利極大，因此，需藉公共政策之介入來使私有地主之土地利用決策達到社會福利極大。公共政策之主要目的為使私人目標與社會目

標達成一致 (Hardie and Parks, 1991; Zhang and Flick, 2001)。當市場資訊不完全時，各國政府對於森林管理或是林木砍伐皆有建立相關之制度或政策。由於造林投資之作業時間較長，且具有外部成本（水污染）與外部效益（碳吸存），故政府會介入私有木材生產市場，大部分國家均有對於國有林與私有林之研究、教育輔導、補貼獎勵制度 (Cubbage and Haynes, 1988)。許多研究顯示，政府若實施各種造林獎勵補貼政策與相關技術指導，對於地主造林之參與誘因有正面影響；然而若政府對於造林政策規範越多，則對於地主參與造林政策之誘因有負面影響。

森林碳匯相關政策的文章中，碳給付和碳支出（課稅）的模型是基礎林業經濟模型 (Romro et al., 1998)。自從 van Kooten et al. (1995) 發表研究後，計算森林碳吸存效益的政策越來越受重視。最根本的問題是要如何制定森林單位碳價使林主能獲得利益又不使市場失衡。van Kooten et al. (1995) 的模型是支付碳給付給生長的森林、砍伐森林者則必須支付稅金。這樣設計的碳給付政策符合經濟學原理，也可鼓勵新植造林，亦促進投資造林技術的研發，而碳稅執行可抑制森林砍伐

造成碳釋放。許多文獻透過生物量或年齡結構的市場平衡模型分析證實這個方法確實是合理的 (Lintunen and Uusivori, 2014)。然而，亦有學者提出另一個方法，為了政策執行容易，政府可以定期依據每年碳儲存量支付林主碳租金 (Uusivuori and Latrui, 2007)。前者的購碳政策，與後者的碳租政策，這兩者何者較佳？過去經濟理論告訴我們，兩者在完美市場與最適條件下給付將會相等，然而根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 最新研究，在一般情況下，兩者政策給付不一定相等，且引入碳排放交易後林主之行為將有所不同，且政策執行便利性也不同。因此，本研究根據這篇文章編譯與分析這兩個方法，包括考慮購碳政策與碳租政策之內容，供後續研究者參考。

二、購碳政策與碳租政策

首先，依據經濟學理論，最適條件下，購碳政策與碳租政策會有等價點，可以導出相等時之條件。其次，討論這兩個方法在執行時的行政和特定的議題（如財政負擔）。例如，透過總量管制與排放交易的方法來執行碳匯政策。其次，購碳政策在總量管制與排放交易方法中，執行起始階段管理機構需要很高的建立成本去購買現存碳儲存，砍伐時若有碳釋放林主需要支付對應之碳支出；而在碳租政策中，政府定期支付碳租給林主，林主在砍伐時不需要付錢給管理機構，政策執行更為簡單且交易成本較低。這兩個政策若引入碳儲量基線，則政府花費可大幅地降低，但基線主要的缺點是沒有將碳效益完全的內部化。

就碳租政策的執行成本與歐盟排放交易制度系統中排放權交易的利潤而言，依據學者研究指出，當碳價成長率在 1% 到 5% 時，碳權交易利潤可提供 10 ~ 50% 作為碳租政策基金。美國情況則稍微比歐洲高一些 (Lintunen, Laturi and Uusivuori, 2016)，增加土地期望價值，將可鼓勵森林經營增加碳儲存，同時使土地保持為林用，並鼓勵新植造林增加林用土地，美國加州的總量管制與排放交易計畫就是使用這些方法抵換碳排放 (CEPA, 2014)。

三、連續與間斷時間土地價值模型下購碳與碳租政策理論

最基本的碳給付模型，應該屬於 van Kooten et al (1995) 提出的連續時間土地價值模型，如下：

$$\max_T LEV(T) = [(pq(T) - k)e^{-rT} + R_c(T)](1 - e^{-rT})^{-1} - c \quad (1)$$

其中，碳給付為 $R_c(T) = p_c \left[\int_0^T v(t)e^{-rt} dt - (1 - \alpha)v(T)e^{-rT} \right]$ ， p 為木材價格； p_c 為碳價； k 為每公頃砍伐及造林成本； $q(t)$ 為每公頃材積； $v(t)$ 為每公頃碳儲存； r 為利率； α ：假設木材以木製品的形式儲存的參數。此碳給付模型可以看成是購碳政策，亦即，政府在一開始購買碳吸存，當林主砍伐森林，非作為木製品用途之部分需繳稅購回，當對 $v(0)=0$ 做積分 $R_c(T)$ 可改寫為 $R_c(T) = p_c \left[r \int_0^T v(t)e^{-rt} dt + \alpha v(T)e^{-rT} \right]$ 。

Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 進一步透過經濟模型分析後，比較購碳政策的給付與碳租政策之給付。碳租的租金如下：

$$\rho_c(t) = rp_c v(t) \quad (4)$$

而砍伐時的給付如下：

$$S_c(t) = \alpha p_c v(T) \quad (5)$$

碳租政策是指，政府會支付一筆租金的給付給林主，而林主把碳留在林地上，也就是政府不是買而是租碳儲存。而在 α 大於零的情況下，當林主砍伐森林時，必須補償減少的碳儲存。因此，購碳與碳租政策在無窮期且價格不變的情況下淨現值是相等的，兩個政策的效果也是相等的。

為了能夠比較這兩種政策，必須先研究在更為一般的情況。假設林主極大化效用，由消費 C_t 和森林提供的景觀價值 A_t 兩個變數來決定。此外，森林分為好幾個林齡的林分。林主考量無窮期的消費及砍伐序列使每次砍伐淨現值皆最大化。而砍伐決定會影響各個齡級的砍伐面積。和連續模型不一樣，伐採的時間及方法都會影響碳儲存量，所以碳儲存需要被精準定義。

根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 指出，在購碳政策下每年的淨給付會隨每年的生長量不同而改變，而在間斷時間下表示為

$$\sigma_t^{purchase} = p_t^c G_t - p_t^c (1 - \alpha) H_t, \quad (6)$$

$$\sigma_t^{purchase} = p_t^c \Delta B_t^c - p_t^c \alpha H_t. \quad (7)$$

碳儲存變化量為 $\Delta B_t^c = B_{t+1}^c - B_t^c$ ，不會受到 α 影響，表示不受砍伐影響。當 $\alpha = 0$ 時就會和政府間氣候變化專業委員會 (IPCC) 計算碳儲存變化的方法一樣 (Aalde et al., 2006)。van Kooten et al. (1995) 的研究並沒有確切說明政策該如何執行。而當政策發布前就有存在森林，發布後政府購買既存的碳儲存，林主砍伐時再將碳儲存買回。所以在起始階段始政府購買既存碳儲存的價格需要有一個標準

$$\sigma_{initial}^{purchase} = p_0^c B_1^c. \quad (8)$$

如果政策在一開始沒有先發放碳給付，那麼政策對於當時即將要砍伐的林主就沒有吸引力。從增加碳匯觀點來看，政府應該要管理到所有的森林。但如果政策在一開始沒有先發放碳給付，又強制所有林主要遵守，那麼林主一定會反對並不參與。若是採用儲量基線，儲量基線可以改變給付金額，甚至可以歸零。在碳租政策中林主會收到政府的碳租和砍伐時的給付。而碳租在間斷時間的模型為

$$\sigma_t^{rent} = \mu_{\Delta t} p_t^c B_t^c + p_t^c \alpha H_t. \quad (9)$$

碳租的利率 $\mu_{\Delta t}$ 是決定購碳政策與碳租政策是否相等的關鍵。

四、購碳政策與碳租政策的異同

這兩個政策要使林主有同樣的決策行為，有兩個條件，第一，給付政策所給予的淨利必須要等於林主的機會成本，第二，兩政策的一階條件要完全相同。兩政策的一階條件並不會影響消費及儲蓄。為了要讓兩政策效用相等，必須要找到一個可以做為政策執行細則的適當公式來決定碳租利率 $\mu_{\Delta t}$ 。

根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 指出，購碳政策與碳租政策效用相等，必須要滿足以下的條件才可成立，(1) 林主處於完美資本市場；(2) 碳購政策執行時有購買已存在的碳儲存；(3) 管理機構與林主對於碳價的預期相同；(4) $\mu_{\Delta t}$ 等於下式。 r_{Δ} 是利率， $\pi_{\Delta t}$ 是（預期）碳價成長率。

$$\mu_{\Delta t, t+1} = \frac{r_{\Delta} - \pi_{\Delta t, t+1}}{1 + \pi_{\Delta t, t+1}} \quad (10)$$

根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 指出，透過適當的碳租利率公式，兩政策砍伐決策的一階條件才會相等。為了要使兩政策的淨利值相等，購碳政策在政策開始執行時，管理機構必須對既存的森林發放全額的碳給付。管理機構在政策剛開始執行時，購買已經存在於森林中的碳儲存，碳租政策中碳租利率由林主所預期的未來碳價調整，前提是林主預期是合理的，且林主需處於一個完美的資本市場以滿足他消費，才能使兩政策下有相同的砍伐決策。滿足以上的條件，林主在兩政策中會有同樣的行為，但是兩政策在其他方面並不相等，例如給付的時間點

不同造成林主短期內儲蓄不同，同樣的政府的花費也不同。在購碳政策下林主的平均儲蓄較高，因此，林主在碳租政策中是受到限制、非處於完美資本市場的機率較高，而若林主是受到限制的話會導致砍伐行為不同。兩政策給付最大的時間點也不同，購碳政策在碳吸存最大時給付最大，而碳租政策則是在碳儲存最大時給付最大。這兩個政策間的選擇也隱含了兩個不同的執行情況。第一，購碳政策在起始階段購買既存碳儲存的花費及森林一開始生長快速的碳吸存使得其建立成本極大，而在政策後期花費將會降低。而碳租政策則是在政策後期因森林碳儲存達到峰值使得政策花費極大。第二，購碳政策下，林主砍伐森林時需要付碳排放的費用；而碳租政策中，林主在任何時間都不需付錢給管理機構。

五、基線效用與碳交易

加州環境保護署 (California Environmental Protection Agency, CEPA) 空氣資源局的履約抵換計畫，基線根據不同計畫而不同 (CEPA, 2014)。而經濟理論，並沒有說明設立基線的根據，基線可以因為要減少給林主給付之經濟考量而有所改變。此外若是沒有儲量基線，排放抵換計畫等排放交易市場將會有過多的森林碳匯供給。若是儲量基線真的實際應用在排放抵換計畫的話，則儲量基線應該要以森林碳政策執行之前的砍伐行為為基準。而如果儲量基線制定更為彈性的話，就可以減少一些資訊需求進而減少政策的管理花費。

簡而言之，如果基線訂得太高，林主們將不會參與政策，反之則是政策的財政負擔會過高。

根據以上的分析建議運用具有彈性的基線做為儲量基線，其影響可使林主收到的碳給付減少，根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 理論推導，購碳政策的碳給付是以碳儲量減儲量基線的淨變化為基準，如果起始的碳儲存等於儲量基線的話，就不需要起始給付，在碳租政策中也十分相似。基線並不影響林主效用極大的一階條件，但是會減少給付，造成林主的財富和土地期望價值減少。總之導入基線可以縮減政策花費，但同時也會使政策偏離最佳的狀態，減少土地價值，改變土地分配；減少林主財富可能會改變林主的砍伐行為。此外，碳租政策導入基線的話，可能會使林主在碳儲量低於儲量基線時，要繳費給政府。

執行森林碳匯相關政策時，若沒有導入基線的話，林主可從政府獲得更多利潤，特別是在購碳政策中，林主可獲得大量起始給付。森林碳匯政策極大化的花費和排放交易的收入結合，以森林碳匯政策結合總量管制與排放交易為例說明。Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 建議排放交易收入可作為森林碳匯政策給付的基金。這個假設的政策包含所有的森林，並不存在其他的排放抵換計畫，因此將可使補助花費最大化，行政花費最小化。就算沒有實際執行，原則上每個林主都可以直接參與排放交易市場，林主們會因為森林的碳吸存而得到碳排放權，和購碳政策相同，在砍伐時他們必須購買碳排放權。而在碳租政策中，林

主的碳租將不再直接與碳儲存相關，且他們無法直接參與排放交易市場。

將森林碳匯列入碳排放的計算，是結合排放交易與森林碳匯最實際的方法，然後將碳排放權拍賣所得的收入作為林主的補助。總量管制與排放交易的政策可以以下步驟執行：以近期資料設定碳排放最高值、預測森林碳排放、以碳價販售碳排放最高值加森林碳排放之碳排放權、測量實際的碳吸存、以碳排放權獲利作為林主的碳租。很明顯的碳租並沒有出現在排放管制量的設定或淨碳排放的計算中，唯一有碳租出現的地方是將排放交易收入轉移給林主時。而排放管制量可以依據科學和經濟分析決定。這裡呈現了森林碳匯政策一個重要的特徵，在決定排放管制量時不需要額外考量森林的碳吸存，因此不需要透過儲量基線等手段限制森林的碳儲量。

Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 指出，如果因為預算因素，而將儲量基線應用於政策中，唯一改變的只有碳租。而若僅只是因為預算因素的話儲量基線並不需要依照一般儲量基線，更不會影響森林碳排放預測值。完全給付式的政策會因為全球龐大的森林碳儲存而使政府有龐大的支出。而給付與碳排放權的價值都取決於碳價格，因此可以將政府政策支出之給付表示為碳排放權獲利的一部份。Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 研究結果如表 1 所示，呈現模擬在不同區域管理機構的政策支出，這個模擬的基準年是 2010 年，而碳吸存的速率是由 2005 到 2010 的資料所計算 (FAO, 2010)，排放資料是參考 Boden

et al. (2013)。模擬中購碳政策的起始給付非常大，就連最低的歐洲都需要 9 年的碳排放權交易收入才能負擔。而美國則是需要 13 年的收入。而繼續執行購碳政策的話，歐洲每年需要 45% 的碳排放權交易收入作為碳給付的基金，但美國只有 9% 的碳排放權交易收入，

反映出歐洲森林是呈現成長中的狀態。而全球碳給付為負值是因為全球森林面積正在減少中。政策支出以占碳排放權交易收入比例表示，碳租政策以不同碳價成長率 $r - \pi$ 表示，分別為 1%、3%、5%。

表 1、碳排放、森林碳匯、相關政策支出

		EU27	USA	World
Emissions (Gt/a)		1.1	1.5	8.9
Biomass (Gt)		9.8	19.3	289
Biomass Growth(Gt/a)		0.5	0.14	- 0.5
Carbon purchase policy		8.9	12.9	32.5
Initial payment				
Net annual payments		0.45	0.09	- 0.06
Carbon rent policy	$r - \pi$			
Annual payments	1%	0.09	0.13	0.32
Annual payments	3%	0.27	0.39	0.97
Annual payments	5%	0.45	0.64	1.62

資料來源：Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016)

註：排放資料參考 Boden et al.(2013) 之資料，森林碳匯參考 FAO (2010) 之資料。

如同表 1 所呈現的碳租政策中的碳租，隨著碳價的漲幅增加而比例越高，特別是在歐洲及美國碳價漲幅極低時，碳租的金額幾乎無法和碳排放權獲利相提並論。而在全球等級碳租金額甚至高於排放收入。如果政策執行，森林碳儲存會逐年增加，碳租也會隨之增加，同時，碳排放增加率也應該逐漸下降，或是排放量減少，導致碳價漲幅趨緩，使碳租越來越少。

森林碳匯政策的目的，是增加森林碳吸存的能力，森林碳吸存的能力越高，排放交

易的收入就越多。但這最終會使碳價下跌，因此森林碳匯政策會在碳吸存最大時減少支出的所占的比例，此時就可以以較低的支出維持先前較高支出的效果。在較早的階段時，森林碳匯政策可以搭配儲量基線減少支出，特別是當基線與碳儲量相等的話就不需要起始給付。作為政策的考量而非科學，基線的選擇可以決定排放交易收入轉移給林主的比例，總而言之，越高的基線，林主得到的比例就越低，使林主的財富及土地期望價值漸少，最終將影響林主對土地的利用行為及方式。

(圖片／高遠文化)

六、討論與建議

由 van Kooten et al. (1995) 的基礎模型會認為購碳政策與碳租政策之效益（或政府支出）是相等的。只要林主對於碳價的預期是合理的、處於完美資本市場、購碳政策有起始給付，兩政策可以使林主的決策行為模式相等。若導入碳儲量基線，會使碳匯的價值受損，但不會影響兩政策之行為模式相等的狀況。

根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 指出，儘管在假設的情況下，兩政策在決策行為及淨給付金額都相等，但是兩政策對於實際政府及林主預算編列是不相等的。購碳政策因為有起始給付，因此政策執行成本很大，而碳租政策沒有起始給付的困擾，故執行上較為簡單。碳租政策的特色是金錢由政府流向林主的定期單向小量流動為主，而購碳政策則是起始政府大量流向林主並定期小量流向林主，等林主在砍伐時，林主需繳稅購回碳權的雙向流

動。這暗示著碳租政策實際上較容易執行。但當政策導入基線後，這個結果將會改變，因為基線可以降低或消除購碳政策的起始給付，且可能使在碳租政策中林主需繳錢給政府以補償不足的碳儲存。因此基線導入會使兩政策的效用改變。

另外，根據 Lintunen, Laturi and Uusivuori (2016) 研究顯示，若森林碳給付政策僅把目標放在私有林的話，政策支出所占的比例還會再降低，基線的導入也會造成同樣的結果。已開發國家有能力執行碳租政策，但是在熱帶的開發中和落後國家中擁有大量的森林碳儲存，把這部分也納入碳租政策之後，政策支出依然是無法負擔，使政策無法執行。如同先前所說，基線導入在兩個政策中都可作為降低政府支出的工具。主因是基線會減少碳匯價值，改變林主對土地的利用及輪伐期，使森林利用的社會價值偏離最佳化。♻️

（圖片／高遠文化）