

再造林成本與林木伐採決策之分析

鄭欽龍¹

(收件日期：民國 88 年 8 月 28 日、接受日期：民國 88 年 10 月 4 日)

【摘要】為維持森林永續經營，林木伐採後必須立即再造林。再造林支出的額度會影響林木伐採的決策。成本愈高，林木輪伐期須愈延後才能使淨收益最大。過去森林經理文獻大多未考慮再造林成本對林木輪伐期的影響。此一缺失將使林木伐採時間提早而造成資源誤置。本文首先分析再造林成本與林木伐採決策之關係，再藉此分析模型探討獎勵造林和提高木材自給率政策。

【關鍵詞】再造林，林木伐採，輪伐期，森林經營，林業政策。

AN ANALYSIS OF REFORESTATION COST AND DECISION OF TIMBER HARVEST

Chinlong Zheng¹

(Received August 28, 1999; Accepted October 4, 1999)

【Abstract】For maintaining sustained management of forest, reforestation has to be implemented promptly after harvesting timber. The level of reforestation cost will affect the decision of timber harvest. The higher cost, the longer rotation age of timber harvest is optimal for maximizing net revenue. Most forest management literatures in the past didn't recognize the impact of reforestation on the determination of rotation age. The lack of such consideration would cause resources misallocation by harvesting timber at an earlier timing. This paper analyzed first the relationship between reforestation cost and timber harvest decision, and then applied this analysis model to review the reforestation incentive program and timber self-sufficiency promotion policy in Taiwan.

【Key words】Reforestation, Timber harvest, Rotation age, Forest management, Forest policy.

I、前言

林木生長是長期的生物過程，短者數年，長者數十年。大面積的森林經營必須事前妥善規劃，使每年或定期可有一定數量的造林、撫育、伐採的工作投入和林木產出，以保持森林作業和營林收入的穩定；否則容易造成就業及財務的波動，而不於利長期穩定的經營。此為

森林經營上注重森林收穫調整（forest regulation）之原因。林木一旦伐採後，同一林地必須再等待多年方有可收穫之材，故需審慎選擇伐採期。重複而且間隔固定的林木伐採期在森林經營上稱為輪伐期。輪伐期的決定是規劃森林收穫調整，維持森林資源永續生產的重要基礎。

林木輪伐期以其決策目標主要可分成最大林木收穫、最大淨現值收益和最大土地期望

¹ 國立台灣大學森林系教授。
Professor, Department of Forestry, National Taiwan University.

值等三種模式（周楨，1967；劉慎孝，1976；Davis and Johnson, 1987）。前二種都未涉及伐採後的再造林，而土地期望值模式只是將再造林成本視為首次造林成本的重複而已，並未考慮再造林之支出可能不同於首次。林木伐採後若要保持林地覆蓋及森林永續利用，伐木前即須考慮再造林及其費用。尤其難以造林或造林工資高昂時，除非伐採之林木價值足以涵蓋再造林之支出，否則伐木前須慎重考慮伐採後能否維持林地覆蓋。由此觀之，再造林成本會影響林木伐採及其時期之決定；然而過去林木輪伐期決定模式未將此項成本納入考慮，據此所做之林木伐採決策恐有誤謬。

本文旨在從學理上探討再造林成本與林木伐採決策之關係。首先試以經濟分析模式闡釋森林經理學的林木輪伐期理論，然後將再造林成本設為林木伐採決策的變數，使此一伐採決策模式之分析結果更能切合實際，並補充過去輪伐期研究文獻在此方面之不足。其次，藉此一模式探討再造林成本與台灣的木材供給及造林獎勵政策之關係。

II、林木輪伐期模式

在森林資源的永續經營上，林木伐採期的決定至為重要。固定間隔時間而且重複的伐採期，在森林經理上稱為輪伐期和迴歸年，兩者概念類似，但前者用於同齡林作業，後者用於異齡林作業。討論輪伐期的文獻甚多，不但見之於林學文獻，近年在經濟學文獻中也有一些別具創見的探討（Bowes and Krutilla, 1985; Hartman, 1976; Neher, 1990）。以下茲以經濟理論闡釋森林經理學上三種主要輪伐期決定模式之意義。

(I) 林木收穫最大之輪伐期

以林木收穫最大所決定之輪伐期為森林經營最常用的方法。此方法將輪伐期定於林木蓄積的年平均生長量等於其年邊際生長量（連年生長量）之時，蓋在此時林木蓄積的年平均

生長量最大。就經濟理論而言，可視土地為林木生產唯一的變動生產要素，而其他要素皆為固定，且土地要素之投入量係以林木持續佔有同一土地的時間計算之。則以上所決定之林木收穫量即是經濟學上的最大平均（土地）生產量（maximum average production）。

上述模式並未將造林支出納入決策考量，不論初次造林成本或下期之再造林成本都與此一輪伐期的決定無關。

(II) 淨現值收益最大之輪伐期

此一決策模式是將輪伐期定於林木生長率等於利率時，蓋此時伐採林木有以現值（present value）計算的最大淨收益（net revenue）。此法又稱為指率法（周楨，1967）。從資產組合（asset portfolio）管理的觀點來看，此一模式可視為林主在持續保有林木繼續生長或是砍伐林木轉而持有現金，此兩種資產之間做一選擇，其目的在使其淨收益（純益）最大。林木資產每年以百分比表示的單位收益（即收益率）是林木生長率，另現金資產的單位收益是利率。若林木生長率大於利率時，保有林木生長的收益多於砍伐林木持有現金的滋息，故繼續保留林木；反之，若生長率漸緩而至小於利率時，則保有林木的收益少於現金滋息，故在生長率等於利率時，即應伐採林木轉而持有現金。此一伐採決策可使淨收益最大。若林木品質和徑級隨林齡增長變好，或市價變動，致使木材之單位價格上漲，此輪伐期仍決定於林木的收益率等於利率之時；但計算林木收益率（亦即指率）時應包括林木生長率、形質生長率與騰貴生長率三者之總和，即林木之總價格生長率（周楨，1967；鄭欽龍，1994）。

以上決策模式亦未將伐採後的再造林成本納入考量。此外，期初造林成本在此模式中屬於沈入成本（sunk cost），不論金額多寡概屬過去之投資，並不影響未來輪伐期之決定。

(III) 土地期望值最大之輪伐期

此一決策模式係考慮在同一林地上重複

多次的造林、伐採作業，而使可從此林地所能得到的預期收益最大。此預期收益在森林經理學上稱為土地期望值 (soil expectation value)，亦即經濟學上之地租 (land rent)。這是由於林地的稀少性而產生的機會成本 (opportunity cost)。若現在和五年後的林木收益率都等於利率時，依淨現值收益最大模式，輪伐期訂於現在或五年後並無差別。但若考慮現在伐採較五年後伐採可早五年騰出空林地供下一輪造林，並使下一輪造林的採伐時間提早五年，故早五年伐採會提高林地的長期收益。由此可見，林地供原有林木繼續生長時，隱含使用稀少土地的機會成本。因此，無立木的空林地也應將其地租算為森林資產的一部份。從資產組合理論來看，土地期望值最大之輪伐期同樣的亦決定於森林資產的收益率等於利率之時，但在計算森林資產上應包括林木價值和 (空) 林地價值兩項，故其收益率為每年林木總價格的增值除以森林資產。

雖然，土地期望值模式考慮重複多次的造林，所以包含再造林成本在內，但簡化的假設再造林的支出與首次造林相同，以及每一次再造林所間隔的時間和投資淨收益也和首次造林相同 (鄭欽龍，1994)。此模式的簡化假設與森林經營實際狀況不符的情形，受到一些森林經理學者的批評 (Leuschner, 1984)。

以上三種輪伐期模式都未考慮伐採後的再造林與伐採決策的關係。然而在同處林地上，伐採林木與再造林在時序上是一前一後，在林地永續利用的條件下，顯然伐採與再造林必須同時一起考量。例如，一些立地條件惡劣的森林，伐採後造林、補植的成本可能高於伐採收益，且有造林失敗之可能，故縱使林木已屆伐期齡，但寧可不予伐採。因此森林法第十條第一款規定：林地陡峻或土層淺薄，復舊造林困難者，應限制採伐。從上例可見，在決定林木伐採時有無考慮再造林成本，其結果會有所不同。以下將有無考慮再造林成本的決策差別，應用經濟模式進一步分析。

III、再造林成本與林木伐採決策

分析再造林成本與林木伐採決策的關係之前，本研究為了突顯臺灣目前造林面臨的主要問題而做了兩項假設。第一，本研究假設所討論之林地已經成林，營林者所要決定的是何時伐採林木可使其收益最大。其次，假設林木伐採後須立即重新造林，以維持森林之永續利用。以上假設符合台灣國、公有林之現狀。林木伐採跡地須再造林為現行林業政策之要求。另許多造林地已經成林，部份甚至過度鬱閉以致生長停滯。然若予以伐採，除林木收益、伐採費用外，亦須考慮再造林的支出。下文即設再造林成本為伐採決策之變數，並探討其對林木伐採期之影響。

誠如前述，過去探討林木輪伐期的文獻甚少論及再造林成本，此乃因其視再造林成本為下一輪造林的投資，並事先評估此一投資將於未來獲得報酬，否則不再造林。然而，本研究將再造林成本視為林木伐採後的必要支出。就台灣目前之造林狀況而言，造林投資難有可預期之獲益，故視伐採後重新造林為新的投資，毋寧視為因法律規定而增加之必要支出，更符合實情，據此所作的決策分析方能切合實際而無誤。

在以下模式中，吾人假設伐採林木之決策函數為選擇一適當之伐採期，以使伐木所得扣除再造林成本的淨收益最大化，此函數可如式 (1) 所示於下：

$$\pi = \{ [P_t - C_t] S(t) - K_t \} e^{-rt} \quad (1)$$

其中， π 為淨收益之現值；

P_t 為第 t 年之林木市場價格；

C_t 為第 t 年之林木伐採營銷單位成本；

$S(t)$ 為林木蓄積量，其為時間 t 的函數；

K_t 為再造林成本；

r 為利率；

e^{-rt} 為連續性折現因子；

e 為指數函數。

上式中 $[P_t - C_t]$ 表示第 t 年之林木市場價格減去林木伐採營銷單位成本，故為立木價格 (stumpage price)，再乘以蓄積量 $S(t)$ 則得到立木價金 (stumpage value) 【註：價金係引用國有林產物處分規則之用語】。立木價金扣除再造林成本 K_t ，所餘為伐採立木之淨收益，折現後即是在 t 年伐採林木的淨現值收益， π 。

從式(1)可知，林木伐採的時間 t 為此模式的唯一決策變數，故若欲使 π 最大，應選擇適當之伐採期。其求解方式為：將 π 對 t 微分得一導函數，並令此導函數等於 0，而求出 t 的最適解。經整理後，可以下式(2)表示：

$$\frac{d\pi}{dt} = \{[P'_t - C'_t]S(t) + [P_t - C_t]S'(t) - r[P_t - C_t]S(t) + rK_t\}e^{-rt} = 0 \quad (2)$$

因式(2)等號右手項為 0，故可消除左手的 e^{-rt} 以求符號之簡化，並可改寫成式(3)如下：

$$[P'_t - C'_t]S(t) + [P_t - C_t]S'(t) - r[P_t - C_t]S(t) + rK_t = 0 \quad (3)$$

式(3)可將具利率 r 之各項提出，再置於等號右方，並改寫如式(4)：

$$[P'_t - C'_t]S(t) + [P_t - C_t]S'(t) = \{[P_t - C_t]S(t) - K_t\}r \quad (4)$$

式(4)等號兩邊可再除以 $\{[P_t - C_t]S(t)\}$ 而得式(5)如下：

$$\frac{[P'_t - C'_t]S(t) + [P_t - C_t]S'(t)}{[P_t - C_t]S(t)} = \left\{1 - \frac{K_t}{[P_t - C_t]S(t)}\right\}r \quad (5)$$

為便於解釋上式之經濟意義，式(5)等號左手項可分解成式(6)如下：

$$\frac{[P'_t - C'_t]}{[P_t - C_t]} + \frac{S'(t)}{S(t)} = \left\{1 - \frac{K_t}{[P_t - C_t]S(t)}\right\}r \quad (6)$$

式(6)等號左手邊第一項之分母為立木價格，分子為立木價格在時間上之變動量，故此項之意義為立木價格之變動率。而左手邊第二項之分母為林木蓄積量，分子為蓄積量在時間上的變動量，故此項表示林木生長率。式(6)等號左手邊兩項的總和，即立木價金的變動率，森林經理學上稱之為總價格變動率或指率 (周楨，1967)。

式(6)等號右手邊為利率乘以一調整項。若營林者伐採林木轉而持有現金資產，其利息所得除以此一現金資產總額即為利率。此調整項為 1 減去再造林成本相對於立木價金的比率。倘若林木伐採後不必再造林，即再造林成本為零，則此調整項為 1。在不再造林的情況下，式(6)所得之結果與前節所述之淨現值最大模式之決定伐採期的指率法相同。即營林者繼續持有森林資產的收益，若隨林齡遞降至等於持有現金資產的收益之時點，即是最適的伐採期，此時營林者可有最大之淨現值收益。

然如前述，當重新造林的預期收益甚小，則再造林支出對決定是否伐採既有林木有顯著之影響。再造林成本與立木價金兩者皆為正值，其比率亦為正值，如式(6)所示，再造林成本與立木價金的比率，將影響式(6)之調整項。茲將三種可能情形分述如下：

(I) 再造林成本大於立木價金

若再造林的支出大於立木價金，則式(6)調整項為一負數。在此情況下，式(6)顯示，營林者要將林木資產轉為現金資產時，現金收入扣除再造林成本後為一負值，故營林者不但不能孳息，反須借入現金（含自有資金）以支付扣抵立木價金而仍不足之造林費用，而負擔利息支出（負的茲息）。在此情況下，營林者左右為難，一是林木已屆伐期齡倘不伐採有「貨棄於地」的損失，另一是伐採後再造林而有「利不及費」的損失。在兩害相權取其輕的考量下，林木不應伐採，以免支出再造林費用而使損失更多。

(II) 再造林成本等於立木價金

若再造林的支出等於立木價金，則式(6)之調整項為零。在此一情況下，伐採立木所得之立木價金扣除再造林支出的淨收益為零，即伐採立木不能增加收益，且可能有造林失敗的風險，故不應伐採林木。

(III) 再造林成本小於等於立木價金

若再造林的支出小於立木價金，則式(6)的調整項為一介於 0 與 1 之正數。此時式(6)之右手項為利率乘以一小於 1 的正數。如圖 1 所示，當不考慮再造林成本時，森林資產收益率曲線與利率線的交點對映至 t_0 時點，依據過去輪伐期決策此一伐採時點可得到最大淨現值收益。但若考慮再造林成本，則森林資產收益率曲線與乘以調整項後的利率線的交點對映至 t_1 。比較 t_0 和 t_1 兩時點可見，伐採林木所得扣除再造林支出，將使現金資產的收益率下降，故可將伐採期延後。即使森林生長率變緩，但若仍然高於已調降的現金收益率，營林者仍可持續保留林木，延遲伐採時間而更有利。即如

圖 1 所示，計算再造林成本後，伐採期應由 t_0 延後至 t_1 ，才能使收益最大。

IV、再造林成本的政策意涵

由上節說明可知，再造林成本對伐採期的選擇有顯著的影響。就某一特定時期而言，適當林木伐採時間的提早或延遲將影響當時木材之供給量。下文將就再造林成本與造林補助政策及提高木材自給率政策之關係，加以分析。

從圖 1 可見， t_1 與 t_0 的距離，即伐採期延後的時間和式(6)之調整項成反比，再造林成本相對於立木價金的比例愈大，則調整後的利率線愈往下移，故適當的林木伐採期愈延遲。而此一比例之大小，從式(6)可知，受到：(1)再造林成本 K_t 、(2)自產林木市場價格 P_t 、(3)林木伐採營銷單位成本 C_t 等三項因素影響。以下就此三項因素的變動對林木伐採決策的影響及其對獎勵造林和提高木材自給率的政策意涵，進一步分析。

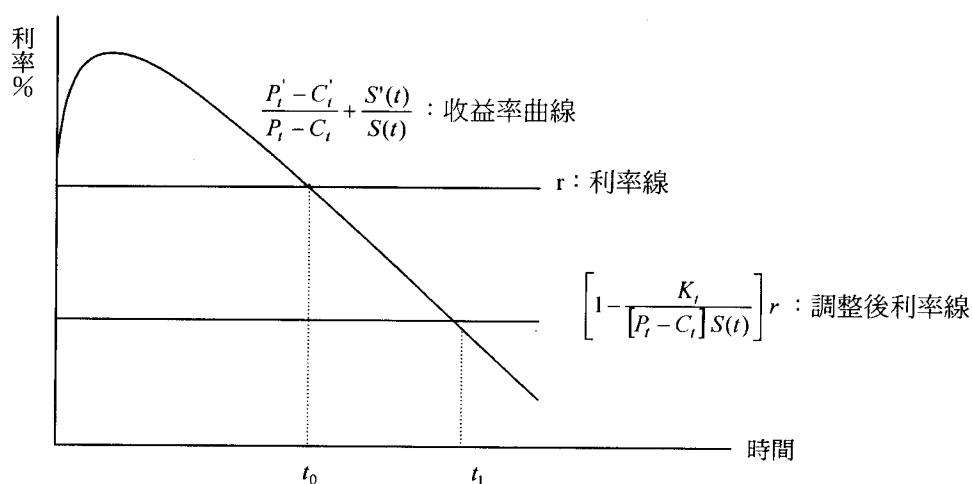


圖 1 再造林成本與最適伐採期

Fig. 1 Reforestation cost and optimal periods of timber harvest

(I)造林成本

當再造林成本 K_r 增加，在其他條件不變時，再造林成本相對於立木價金的比例愈大，故適當伐採期延後，且再造林成本增加愈多，延後的時間愈長。由圖 1 可見，將再造林成本納入林木伐採決策時，適當的伐採期應為 t_1 ，而非 t_0 ；然而政府若全額補助再造林成本時，式(6)之調整項等於 1，則適當的伐採期，將由將 t_1 提前至 t_0 。同理，若補助金額為再造林成本的一部份，式(6)之調整項將介於 0 與 1 之間，適當的伐採期也將提前而落於 t_1 與 t_0 之間。倘若造林補助的金額多於再造林成本，則適當的伐採期將更提早到 t_0 之前。總之，政府給予造林補助，將使營林者的再造林支出減少，由以上分析可見，不論補助金額多少都有誘因使營林者提早伐採既有之林木。其可能情形是，造林補助會使全部或部份既有林木被伐採，然後再重新造林，如此是否合乎發給補助獎勵造林之原意，不無疑義。另則是，不伐採既有林木，以節省伐採費用，然在林下重複造林，即所謂之複層林，而此一造林投資補助能否有合理收益，亦有待商榷。

除了造林補助外，影響再造林成本的因素包括：工資水準、造林地的自然條件和位置。若工資上漲，再造林成本增加，伐期則延後。另外，造林地條件愈差，如陡峻、土壤貧瘠，以及位置偏遠交通不便，都會增加再造林成本，因此，位置和立地條件不良的森林，在考慮再造林成本後，應延後伐採或不予伐採。因此在一段時間內，自產材的有效供給量會下降。

(II)木材價格

其他條件保持不變時，若自產材的市場價格下跌，立木價金亦會減少，因此再造林成本相對於立木價金的比例增大，即式(6)之調整項變小，調整後之利率線往下移，故伐採期將會延後。自產材市價低落為目前台灣造林所面臨之困局。一些已屆伐期齡之林木因利不及費不

能伐採，若再加上再造林支出，恐更得不償失。然從以上分析觀之，將伐採期延遲可免於遭受更大之損失，故現在不伐採為合理之決策。

自產材市場價格下跌的主要因素包括：進口材取代自產材、進口材價格下跌、技術或消費偏好改變使其他產品取代木製品等。

近三十年來，進口材挾其價格低廉之優勢，取代多數台灣自產木材之需求。尤其自 1986 年以來，台幣對美元大幅升值，以美元計價的國際木材價格相對大幅跌落，使自產材價格也下跌，同時台灣的木材自給率也節節下滑。此一趨勢在未來數年內並無轉變的可能。所以式(6)的再造林成本相對於立木價金的比例會因低落的自產木材價格而提高，故適當的林木伐採期應延遲。因此，目前減少自產材供給量，即使木材自給率偏低，亦為合理之決策。

(III)林木伐採營銷單位成本

從式(6)可知，再造林成本相對於立木價金的比例因伐採營銷單位成本愈高而愈大，故若伐採營銷成本提高則林木之適當伐採期應延遲。伐採營銷單位成本的決定因素，包括：工資、林地的可及性（accessibility）以及伐採之規模。林地愈偏遠，工資和林木的伐採運輸的費用也愈高，故偏遠林地的林木伐採期應比易達林地更延遲。在其他條件相同的情況之下，易達林地的林木供給量會多於偏遠林地。林木伐採的規模愈大，因規模經濟會使單位伐採成本愈低，反之，則單位伐採成本愈高。過去林地的伐採面積大或蓄積量多，然而現在相鄰林地的伐採面積和材積都受限制，故單位伐採成本趨高，相對的，立木價金趨低。由式(6)可知，在計算再造林成本後，適當伐採期會因伐採規模變小而延後，在特定時間內，林木的有效供給量也會減少。伐採規模以及林地可及性造成伐採成本的差異和對伐採期和供給量的影響，在現行擬訂全國森林容許伐採量或木材自給量時，並未考量，故所訂之數量可能偏高而不合經濟效益。

V、結論

過去討論林木輪伐期的文獻大多為事前分析，故未考慮再造林的支出對伐採決策的影響，本研究將再造林成本設為伐採決策的變數，並發現計算再造林成本將使適當的林木伐採期延後。傳統森林經理的森林收穫調整係以林木收穫最大做為計算林木伐採量的基礎，而將輪伐期訂在平均年生長量等於連年生長量之時，此為長期林木生產的最大生物性容量(capacity)，並用以決定某一時期的林木伐採上限，故稱之為「容許」砍伐量(allowable cut)。然經濟學上之容量係指售價高於供給成本，且無滯銷之虞時，生產者充分利用產能的最大生產量。但若生產成本高於市場價格，或發生滯銷，則生產容量並不等於有效供給量。本文指出，計算再造林成本會使台灣自產木材的有效供給量更加減少。在擬訂提高木材自給率政策時，此點宜慎重考量，否則造成資源浪費。

另現行計算國有林容許砍伐量大致以生長量為其上限值，此一計算方式只能維持林木蓄積量不減，但不能保證現有之森林蓄積量為一合理之水準。從上文分析可知，造林成本、木材價格、伐採成本皆會影響伐採決策，故釐訂林木生產政策應考慮以上經濟因素及其未來變動趨勢，倘若逆勢勉強提高木材自給率，不但經濟且不利於環境保護。

本文另指出，造林補助會產生提早伐採既成林的誘因，而有違獎勵造林補助之原意。由此觀之，若為增加森林覆蓋(此為獎勵全民造林

之政策指標)，除獎勵造林外，對既成林之撫育及保留亦應獎勵。但造林或撫育補助是否加重政府財政負擔，以及此類補助不分貧富適用於所有之林地所有人及使用人，是否合於社會公平，須再深入研究。

VI、參考文獻

- 周楨(1967) 森林經理學。國立編譯館。
- 劉慎孝(1976) 森林經理學。國立中興大學農學院森林經理學研究室。
- 鄭欽龍(1994) 森林資源利用與永續性－森林最適輪伐期之探討。中華林學季刊 27(4):63-74。
- Bowes, M. D. and J. V. Krutilla (1985) Multiple use management of public forestlands. In L. S. Davis and K. N. Johnson (1987) Forest Management. 3rd Edition. McGraw-Hill Book Co. 790pp.
- Hartman, R. (1976) The harvesting decision when a standing forest has value. Economic Inquiry 14:52-58.
- Kneese, A. and J. Sweeney (1985) Handbook of Natural Resource and Energy Economics. Volume II. North-Holland. 754pp.
- Leuschner, W. A. (1984) Introduction to Forest Resource Management. John Wiley & Sons Co. 298pp.
- Neher, P. A. (1990) Natural Economics Conservation and Exploitation. Cambridge University Press. 360pp.

