

森林資源利用與永續性—森林最適輪伐期之探討

鄭 欽 龍*

(收件日期：民國83年4月14日、接受日期：民國83年6月8日)

【摘要】長久以來，如何決定森林輪伐期即是森林資源永續經營的研究重點。過去，大多數輪伐期模式只用單一的折現率計算森林生產之木材或非木材產出如自然保育等的現值。本文提出一個新的研究方法，針對森林未來產出的不同社會偏好，而用差異性的社會折現率計算這些產出的現值。本研究顯示在永續性原則下，一個急速發展的經濟體系中，森林最適輪伐期應予延長，其理由有二：(1) 因經濟發展使自然資源稀少性的程度遞增，保留森林的價值隨之上漲，(2) 由於經濟發展累積資本的結果使資本的邊際生產力遞減，而使採伐林木的價值呈現下降的趨勢。

【關鍵詞】永續發展、環境保護、最適輪伐期、森林資源管理。

FOREST RESOURCE UTILIZATION AND SUSTAINABILITY — A STUDY ON OPTIMUM FOREST ROTATION

Chin-Long Zheng*

(Received April 14, 1994; Accepted June 8, 1994)

【Abstract】The determination of optimum rotation of a forest stand has been a focus of study in sustainable forest resource management research for many years. In the past, most rotation models have used a single discount rate to evaluate present worth of either timber output, or other non-timber outputs such as nature preservation. In this paper, a new approach is proposed, which uses differential social discount rates to evaluate present values of future outputs of forestlands based upon different social preferences to the various outputs. This study shows that for the sake of sustainability, in a rapidly developing economy, a longer optimum rotation is needed. This is a result of the following changing factors: (1) higher values of forest preservation as a result of an increasing degree of natural resource scarcity due to rapid development; and (2) lower values of timber harvests in the long run due to a diminishing marginal productivity of capital as a result of capital accumulation.

【Key words】Sustainability, Environmental protection, Optimum rotation, Forest resource management.

I、前言

「斧斤以時入山林，林木不可勝用也」，這句古語點出森林資源管理中一項極重要的研究課題—

* 本文作者為中華經濟研究院研究員。

The author is the research fellow of Chung Hua Institution for Economic Research.

收穫的時機 (timing)。什麼時候收穫，應收穫全部蓄積量 (stock) 中的多少，或是不收穫而保留森林資源並使蓄積繼續增長，可以使得森林資源經營者和社會在長期下獲得適當的利益。若現在將林地上之林木砍伐殆盡，可以立即獲得最大的財務收入，然而猶如「殺雞取卵」，此並非最佳的長期經營方式。此外，森林資源帶給社會的效益，也不能只用出售林木所得的財務收入加以衡量，而應該包括森林資源所能提供的其他財貨與服務，如水土保持、自然保育與戶外遊憩等的價值，雖然這些非木材之產出未能透過市場機能使其供給者獲得相當之收入。

另外，自然資源管理決策的準則，除了在一般經濟政策所標舉的資源配置效率 (efficiency) 及所得及財富的分配公平 (equity) 兩原則以外，尚須包括永續性 (sustainability) 原則 (Tietenberg, 1992)。所謂永續性是指世代間垂直的公平 (intergenerational equity) 有別於所得分配公平之世代內水平的公平 (intragenerational equity)。永續性可定義為現世代對資源的開發利用應兼顧保育，使未來世代也有公平的機會永續合理的利用代代留傳下來稀少的自然資源。

本文旨在探討，在快速發展的經濟體系中，森林資源如何在兼顧木材利用和自然保育的永續利用時，輪伐期的決定方法。就實務而言，森林輪伐期的決定對台灣森林經營及環境保護之關係甚為密切，蓋因森林為台灣最主要的土地利用型態，林地面積佔全島二分之一以上，與防洪、涵養水源、野生動植物保育，乃至於控制溫室效應都有關。若延長輪伐期，則森林蓄積隨林齡增長而增加，對於上述環境保護效益亦隨之增加；相反的，若縮短輪伐期，則伐木、開挖林道、林地裸露等不良之環境影響程度增強。是故，適當之森林經營與環境保護以及永續發展有極密切之關係。

本文分五節，第一節為上述的前言，第二節簡介最適輪伐期 (optimum rotation) 及其不同的決定模式，並分別對各模式加以比較。第三節引介世代間公平以及差異性社會折現率的概念，對資源開發的利益與資源保留的利益給予不同折現率，並將此一概念應用於最適輪伐期的決定模式。第四節引伸此一新模式之政策涵義。第五節為本文之結論。

II、最適輪伐期及其決定模式

(I) 輪伐期之意義

輪伐期在森林資源的經營上係指同一林地上所生長的林木被連續砍伐兩次之間所相隔的時間。假若某一森林經營者有一林地面積為 1 單位 (例如 100 畝)，而輪伐期設為 t 年 (如 25 年)，則此經營者可將林地分為 t 區 (即 25 區) $1/t$ 單位面積 (即 4 畝) 之小林分 (stand)。經過一段轉化期 (conversion period) 之後，營林者每年可以將此林地中 t 區面積都為 $1/t$ 單位面積的林分，其上之林木樹齡從 1 年生依次排至 t 年生，然後營林者每年可以砍伐林齡為 t 的林木，其砍伐面積為 $1/t$ 畝，次一年可砍伐現在林齡為 $t-1$ 年之林分 $1/t$ 畝，次二年則可砍伐林齡現為 $t-2$ 年之林分 $1/t$ 畝，餘可類推。設若砍伐後立即再造林，則再經過 t 年後，現在砍伐的林分其林齡又屆 t 年生，可再砍伐，如此循環砍伐，因此這一砍伐年 t 被稱之為輪伐年或輪伐期。

此一循環砍伐的過程使營林者每年有一定的林木收穫量和更新栽植面積，可以維持森林資源的永續利用。因此輪伐期的長短密切影響營林者的投資回收、森林更新、樹種選擇和土地利用。此外，就環境保護之層面而言，輪伐期長短決定林木留置於林地時間之久暫，愈久者則單位面積內森林蓄積愈多，森林之防洪、水土保持、自然保育以及戶外遊憩等效益相形愈大。反之，輪伐期短則伐木及林地裸露的次數較多，上述之環境保護功能相對減少，對環境較為不利。

(II) 最適輪伐期決定模式

由以上簡要的說明，可概略知道輪伐期的長短對森林經營的重要性，所以在森林經營以及自然資源經濟的研究中，探討有關如何決定輪伐期的文獻為數甚多。以下簡介過去有關文獻中四個主要的決定模式。

1. 最大永續收穫

依據最大永續收穫 (maximum sustained yield, MSY) 所決定之輪伐期係為使森林經營者每一年 (或每一時間單位) 都可以持續從其森林獲有一個固定的最大收穫。這表示森林經營者在每年砍伐的 $1/t$ 單位面積林地上需有最大收穫量，而全林地於 t 年時的蓄積量為 $s(t)$ ，因此每年收穫為 $s(t)/t$ 。也就是說在最大永續收穫原則下，營林者的目標是決定一個最適輪伐年 (t) 而使收穫量 $s(t)/t$ 最大化，此亦表示在最適輪伐年時平均蓄積量 $s(t)/t$ 最大化。因此最大永續收穫原則以數學式表示於下：

$$\text{Max } \frac{s(t)}{t} = \frac{1}{t} \int_0^t s'(t) dt \dots\dots\dots (1)$$

其中 $s(t)$ 表示森林蓄積的生長函數， $s'(t)$ 為 $s(t)$ 對時間的微分，表示森林蓄積生長量，且 $s(t) > 0$ ， $s(0) > 0$ 。由式(1)可知，為使年平均蓄積最大，其第一階條件為 $d[s(t)/t]/dt = 0$ ，而求得最適輪伐年 t^* ，此時 $s(t^*)/t^* = s'(t^*)$ ，即在輪伐年時，此森林之年平均蓄積量等於年蓄積增長量，而營林者每年都可獲有最大的平均蓄積量，所以長期的永續收穫量也最大。在森林經理學上，常用平均年生長量 (mean annual increment ; MAI) 等於連年生長量 (current annual increment ; CAI) 表示前述最適輪伐年之決定方式。

2. 最大淨現值

最大淨現值原則係為使營林者在決定砍伐期時，使其造林投資可獲得最大的投資報酬效益。以數學式表示如下：

$$\text{Max } \pi(t) = p \cdot s(t) e^{-rt} - C_0 \dots\dots\dots (2)$$

其中 p 表示在林地上之林木 (stumpage) 的價格， e 為自然對數值， r 為資本報酬率，所以式(2)等號右邊第一項為森林蓄積的現值， C_0 為最初期的造林費用。為簡化計，假設除此之外無其他撫育支出。 π 為投資之淨現值 (net present value)。由式(2)之第一階條件，即令 $d\pi(t)/dt = 0$ 可得

$$ps'(t^*) e^{-rt} - rps(t^*) e^{-rt} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式(3)可簡化成下式：

$$\frac{ps'(t^*)}{ps(t^*)} = \frac{s'(t^*)}{s(t^*)} = r \quad \dots\dots\dots(4)$$

因 $s'(t^*)/s(t^*)$ 為森林蓄積生長率，故式(4)表示最適輪伐期 t^* 決定於當森林蓄積生長率等於資本報酬率之時。此一伐期又被稱為財務成熟期(financial maturity)。由於森林適當的砍伐時期應在其蓄積仍在生長但生長速度遞減的階段，故由森林蓄積生長率等於資本報酬率決定最適輪伐期時，表示資本報酬率愈小則其輪伐期愈長；反之，資本報酬率愈大，則其輪伐期愈短。若將立木價格的變化亦考慮在內，即價格為時間之函數 $p(t)$ ，則式(4)可改寫成：

$$\frac{d[p(t) \cdot s(t^*)]}{p(t) \cdot s(t^*)} = \frac{p'(t^*)}{p(t^*)} + \frac{s'(t^*)}{s(t^*)} = r \quad \dots\dots(5)$$

式(5)與式(4)之差別在於將立木價格之騰長率納入，故最適的財務成熟期為立木的價格騰長率加上蓄積生長率的總和等於資本報酬率。此一決定表示持有立木的報酬率需等於持有其它資產的報酬率（即折現率）。若超過此一最適時點仍未砍伐，則受立木報酬遞減之影響，繼續持有立木並非最有利之投資，倘為求投資報酬之最大化，則需在此一時點即將立木砍伐。

3.最大土地期望值

最大土地期望值模式的目標函數為求林地的經濟租（economic rent）的最大化。設若林地一直被用為生產林木，則不能如前述之現淨值模式只考慮單一伐期，因為林木留置於林地時，表示此一林地無法成為空林地再行造林，而致影響下一個伐期之淨收益。例如一森林若其輪伐期為20年，另一為30年，在60年之內，前者可以收穫三次，後者兩次，假如兩森林每單一輪伐期之淨現值都相同，但以多次伐期而言，林地租之淨值顯然輪伐期20年多於30年者。易言之，最大現淨值模式只考慮單一伐期，並未考慮以後之伐期而忽略空林地可繼續投入生產的機會成本。此模式係由德國學者Martin Faustmann於1849年首先提出，以數學式表示如下：

$$\begin{aligned} \text{Max } F(t) &= \pi(t) + \pi(2t)e^{-rt} + \pi(3t)e^{-2rt} + \\ &= [p \cdot s(t)e^{-rt} - C_0] / (1 - e^{-rt}) \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

其中 $F(t)$ 被稱為土地期望值（soil expectaiton value），係每一採伐期的期初淨現值再折算成目前現值的總和。式(6)的第一階條件，即令 $dF(t)/dt = 0$ 可得：

$$ps'(t^*) - rps'(t^*) - rF(t^*) = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式(7)可改寫為

$$F(t^*) = \frac{ps'(t^*)}{r} - ps(t) \dots\dots\dots (8)$$

由式(8)可以看出 $F(t^*)$ 之所以在森林經營的文獻上被稱為土地期望值的理由。式(8)等號右手邊第一項的分母為林木價值增長量，分子為報酬率，所以兩者之商數為林木蓄積之預期價值（註一），而右手邊第二項為林木蓄積之現在價值， $F(t^*)$ 為預期價值與現在價值的差額，亦為持有稀少林地者所獲得之稀少性剩餘（scarcity surplus），亦即林地的經濟租或土地期望值。

式(8)可改寫成：

$$\frac{ps'(t^*)}{ps(t^*) + F(t^*)} = r \dots\dots\dots (9)$$

由式(9)可知，此模式之最適輪伐期（常被稱為 Faustmann age）係決定於相對於林木蓄積和林地價值總和的林木蓄積價值生長率等於投資報酬率。比較式(9)與式(4)可知式(9)在等號左手項的分母中多出最大之土地期望值 $F(t^*)$ 。若此值為零，則式(4)和式(9)相等；但若此值大於零，則可看出以土地期望值式(9)所決定之最適輪伐期較以淨現值之式(4)者為短。此外，最大淨現值模式，式(4)，為最大土地期望值模式，式(9)，的特例，前者係假設營林者不缺乏空林地，毋需縮短輪伐期多留出空林地再重新造林，故空林地的機會成本為零，即林地不具稀少性而其經濟租為零。

由以上三個模式可以歸納出，最適輪伐期取決於林木蓄積生長率等於時間的倒數或等於投資報酬率。若林木蓄積生長率停滯或小於投資報酬率時，則此森林需要砍伐更新，以求其最大林木收穫或最大現值收益。但若應用上述的森林經營原則，顯然不利於森林的保留及永續性，尤其多數天然原始林已經達到生態學上所謂的極相（climax），其林木蓄積的生長已呈停滯，故必須砍伐更新。但就社會整體而言，原始的老齡林雖然生長停滯，仍有其環境效益，如水土保持、遊憩景觀和物種及生態保護等價值，若一旦砍伐，這些森林的環境效益亦隨之消逝。並且就一些獨特珍稀的森林資源而言，一旦被開發破壞之後無法回復，使得以後世代不能有機會利用這些資源。這種決策就不符合永續性準則。

以美國西海岸珍貴之千年紅木（redwood）森林為例，Hartman（1976）提出以下之最大多目標利用（multiple-use）價值模式。

4. 最大多目標利用價值

Hartman 模式之目標函數為求多次輪伐期之森林多目標利用價值最大化，以數學式表示如下：

註一：
$$\frac{ps'(t^*)}{r} = \frac{ps'(t^*)}{1+r} + \frac{ps'(t^*)}{(1+r)^2} + \dots\dots\dots$$
，此表示林木蓄積之預期價值為極長期下每一年林木增長值折現後的總價值。

$$\text{Max } M(t) = [p \cdot s(t)e^{-it} + \int_0^t a(n)e^{-in} dn - C_0] / (1 - e^{-it}) \dots (10)$$

其中 $a(n) > 0$ 表示在時間為 n 時，保留林木蓄積不予砍伐時所能獲得環境效益。故 $\int a(n)e^{-in} dn$ 所表示者為由林齡為0到 t 年累積之森林蓄木被保留所產生之環境效益的折現值。因為多目標效益包括了木材生產以外環境保護的社會效益，故以 i ，社會折現率（social discount rate）取代投資報酬率 r 。由式(10)令 $dM(t)/dt = 0$ ，可得第一階條件式如下：

$$ps'(t^*) + a(t^*) - ips(t^*) - iM(t^*) = 0 \dots \dots \dots (11)$$

式(11)可改寫為

$$M(t^*) = \frac{ps'(t^*)}{i} - ps(t^*) + \frac{a(t^*)}{i} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{或} \quad \frac{ps'(t^*) + a(t^*)}{ps(t^*) + M(t^*)} = i \dots \dots \dots (13)$$

由式(12)可知最大多目標利用效益為最大土地期望值 $[ps'(t^*)/i - ps(t^*) = F(t^*)]$ 加上在 t 年時保留林蓄積所能產生的非木材生產效益 $a(t^*)$ 的無限期折現值的總和 $[a(t^*)/i = a(t^*)/(1+i) + a(t^*)/(1+i)^2 + \dots]$ 。而式(13)所表示者為在考慮森林多目標利用效益時，其最適輪伐期取決於森林蓄積的開發效益（木材生產）與保留的環境效益（非木材生產）總和的生長率（等號左手邊項）等於社會折現率。

III、差異性折現率

從以上最適輪伐期模式的討論中可以看出：(1) 除了森林蓄積的開發效益之外，保留森林蓄積所生產的效益亦需列入決定最適輪伐期的考慮之內，(2) 投資報酬率或社會折現率在決定最適輪伐期時扮演甚為重要的角色。若折現率降低，則輪伐期可以延長，此即傾向於森林蓄積的保留效益；反之，折現率升高，則輪伐期縮短，即傾向於森林蓄積的開發效益。因此，折現率的高低也反映出世代間垂直公平及永續性的問題（戴華，1993）。如採用較低的折現率表示可將森林蓄積保留到更久的世代才加以利用，而高的折現率表示對現在的消費有較大的偏好，故傾向縮短輪伐期加速開發森林。所以，本文在討論最大森林多目標利用效益模式中，以社會折現率取代私人的投資報酬率。

雖然，如何能以這一代人的偏好決定未來世代的社會折現率的問題，在學術上有一些的爭議（Fisher, 1981）；不過認為社會折現率應低於私人企業之投資報酬率的看法則普遍被接受，其主要理由為公共投資的社會折現率不像私人投資的報酬率需要有風險貼水（risk premium）。關於這點，有兩

點不同的理論根據。第一，Samuelson (1964) 認為政府投資於許多計畫，若視政府投資為一整體，則其投資風險因其計畫眾多而分散，所以政府投資是風險中立的，因而公共投資的報酬率（社會折現率）不需要加上風險貼水。第二，Arrow和Lind (1970) 認為政府的個別投資計畫因其股東（全體納稅人）眾多，每一股東所分擔之金額甚小，所以個別股東之風險貼水幾近於零，因此公共投資的社會折現率不需加上風險貼水，而低於私人投資報酬率。

以上是只就投資風險而言，社會折現率低於私人投資報酬率的理由。此外，由於經濟發展，資本財逐漸累積，假設其他生產因素如自然資源的供應固定；相對的而言，資本財的邊際生產力將會隨其累積而遞減。依據Ramsey最適儲蓄法則（Hartwick and Olewiler, 1986），即如下式所示：

$$\frac{U_c [C(t+1)]}{U_c [C(t)]} = \frac{1+i}{1+f_k [K(t+1), R(t+1)]} \dots\dots\dots (14)$$

其中 $U_c [C(t)]$ ， $U_c [C(t+1)]$ 分別表示 t 和 $t+1$ 時點時，社會的邊際消費效用， i 為社會折現率， f 為生產函數， K, R 分別表示資本和自然資源兩項生產因素（註二）， f 則為資本財的邊際生產力。若兩個世代間的社會邊際消費效用相同，此可視為永續性意義下的一種世代間公平，則式(14)的等號左手項為 1，可得 $i = f_k [K(t+1), R(t+1)]$ ，即社會折現率等於資本財的邊際生產力。又知資本財邊際生產力 f 隨時間延後社會累積更多資本而遞減，因此投資開發計畫的社會折現率亦應隨之變小。

另外，從自然資源保育的觀點來看，我們可由森林多目標利用效益模式中得知其重要性，不過這只是針對保留森林蓄積以提供非林木生產的效益而言。事實上，某些獨特（unique）的自然資源會因開發破壞而至完全消失，例如一些奇特的景觀和生態系、瀕臨絕種的野生動植物，所以保留（preservation）自然資源的本身就有其效益（註三）。換言之，這種保留的效益來自於投資開發自然資源後不能恢復原貌的不可恢復性（irreversibility）。Fisher(1981)認為這類型式的保留效益是留贈給下一世代而其效益逐漸遞增，其理由如下：

1. 開發的結果創造更多的製造品，即使自然資源（如景觀、環境）的供給不變，製造品對自然資源的相對價格也會遞減。
2. 事實上，開發的過程常使自然資源遭受破壞而減少，故自然資源的相對價格變高。
3. 隨經濟發展，消費者的偏好會改變，一般而言，在製造品和上述的自然資源中會傾向後者。
4. 另外，在未來不確定的狀況下，保留自然資源尚擁有正的選擇權價值（option value）。即保留

註二：式(14)中的資本投入，廣義地包括了投資於人力資源（human capital）和技術之研究發展（R&D）。

註三：這裏提到的效益是一種以人為中心的環境倫理取向下的概念，相對於以人為中心的還有以生態為中心的環境倫理，可參考戴華（1993）之論文。自然資源和環境經濟學所探討的都是以人為中心的取向，這是由於經濟學的人文背景。

的結果，尚能留待未來有更多資訊和更好的技術以決定是否開發或保留，而使決策更完善。相反的，若現在即予開發，則喪失未來選擇是否開發或保留與否的機會，而可能遭受因從前資訊不足而開發不當的損失。

綜合以上所述，我們可以歸納出：第一，開發效益隨經濟發展資本累積而遞減；第二，保留效益相反地隨經濟發展資源愈呈稀少而增加。針對開發效益與保留效益的未來價值會隨社會經濟發展而有所不同的現象，Porter(1982)提出差異性折現率的理論。在傳統的成本效益分析中，對投資開發活動不論是成本（開發成本加上保留效益的損失）和效益（開發效益）都給予相同的折現率。Porter認為對景觀、環境等自然資源的開發效益和保留效益應給予不同的折現率，前者的折現率為 $(i+k)$ ，後者為 $(i-g)$ （註四）。 i 如前所述為社會折現率， $k \geq 0$ 為開發效益的遞減率，Porter又稱 k 為技術衰退率(rate of technological decay)。 $g \geq 0$ 為保留效益的生長率。差異性折現率的意義為對自然資源的開發效益給予加速折現，所以未來開發效益的現值變小；相反的，保留效益給予延緩折現，甚至給予負的折現率，如 $g > i$ ，而使未來保留效益的現值相對變大。

綜上所述，本文依據差異性折現率的概念，將最大多目標利用效益模式加以修正，並提出新的模式如下：

(I) 最大森林多目標利用與保留效益模式

此模式之目標函數為在差異性折現率的條件下，追求在重複多次伐期時森林多目標利用效益與保留效益的總和的淨現值最大化。以數學式表示如下：

$$\max \lambda(t) = [p \cdot s(t)e^{-(i+k)t} + \int_0^t a(n)e^{-(i-g)n} dn - C_0] / (1 - e^{-it}) \dots (15)$$

式(15)表示在同一伐期之內，林木蓄積的開發效益給予較大的折現率 $(i+k)$ ，而給予保留森林的效益較小的折現率 $(i-g)$ 。另外，此模式為一確定(deterministic)模式，故保留森林的正選擇權價值尚不考慮在內。

式(15)的第一階條件即 $d\lambda(t)/dt = 0$ 為：

$$ps'(t^*)e^{-kt^*} - (i+k)ps(t^*)e^{-kt^*} + a(t^*)e^{gt^*} - i\lambda(t^*) = 0 \dots (16)$$

式(16)可再改寫成

$$\frac{[ps'(t)e^{-kt^*} - kps(t^*)e^{-kt^*}] + a(t^*)e^{gt^*}}{ps(t)e^{-kt^*} + \lambda(t^*)} = i \dots (17)$$

註四：為使模型簡化，假設 k 和 g 都是常數，不隨時間而改變。此一簡化假設並不改變模型之結果。

由於 $[ps'(t)e^{-kt^*} - kps(t^*)e^{-kt^*}] = d[ps(t^*)e^{-kt^*}] / dt$ ，且 $e^{-kt^*} < 1$ ，表示 t 年的林木產值考慮技術衰退率後的加速折現的現值增加量，同時 $e^{gt^*} > 1$ ，故 $a(t^*)e^{gt^*} > a(t^*)$ ，此表示保留效益因自然資源更具稀少性而使其未來價值增大。式 (17) 左手邊項的分母與最大森林多目標利用價值模式之最適解，即式 (13) 類似，其所不同者為 $\lambda(t)$ 的內涵與 $M(t)$ 不同，以及多出 e^{-kt^*} 及 e^{gt^*} 等表示加速折現和延緩折現的參數值的調整項。式 (17) 表示在長期經濟發展之後，因資本累積及自然資源愈形稀少，社會對森林資源的開發和保留的效益給予不同的評價，而調整後的林木價值和保留價值總合的年增長率等於社會折現率時，即可決定出最適輪伐年。

IV、模式分析及政策涵義

綜合以上五項模式加以比較，並列於表1。由表1可以看出，如果社會折現率不隨著社會之資本累積、消費偏好改變以及森林的自然景觀、環境資源愈形稀少珍貴等因素而改變，即式(17)中的 $k = g = 0$ ，此亦即假設公共森林的經營不因長期的經濟發展而使其所產出的不同內涵給予不同的社會評價，則最大多目標利用效益模式(式13)與式(17)所決定的最適輪伐期相同。這即表示式(13)為式(17)的特例，前者假設社會折現率是靜態的，不隨上述一些社會狀況變化而改變。但就事實而言，台灣近年來經濟發展迅速，資本大量累積，所以資本之邊際生產力相對降低；另一方面，在經濟發展過程中，自然資源遭到破壞，環境日漸惡化，以上靜態的假設顯然難以成立。因此，比較上述各種模式的結果，最大森林多目標利用與保留效益模式（式17）最為適合。並且此一模式適用性最廣，其他模式都較此模式所考慮的因素為少，且可視為其特例，見表1。

表1 最適輪伐期決定模式之比較

Table 1 A comparison of forest optimum rotation models

決策目標函數	林木價值	林地價值	其他利用與保育價值	折現率
最大永續收穫	林木產量	未考慮	未考慮	未考慮
最大淨現值	林木產值	未考慮	未考慮	單一的投資報酬率
最大土地期望值	林木產值	空林地機會成本	未考慮	單一的投資報酬率
最大多目標利用效益	林木產值	空林地機會成本	森林保留效益	單一的社會折現率
最大多目標利用與保留效益	林木產值 折現後相對減小	空林地機會成本	森林保留效益 折現後相對增大	差異性社會折現率

若假設沒有保留效益的社會評價的生長率（即 $g=0$ ），單只考慮技術衰退率為正（即 $k>0$ ），此表示社會之資本邊際生產力遞減，由式(17)可看出開發效益隨時間延長在以後的世代將較現有之效益為小（因 $e^{-kt}<1$ ，故 $ps(t)e^{-kt}<ps(t)$ ）。另外，設若沒有技術衰退率（即 $k=0$ ），單只考慮保留效益增加率（即 $g>0$ ）時，由於保留效益隨時間延長而增加（因 $e^{gt}>1$ ，故 $a(t)e^{gt}>a(t)$ ），所以不論從 $k>0$ 或 $g>0$ 的情形而言，兩者都顯示出保留森林延長伐期才合於最適輪伐期。換言之，經濟發展的結果，不論是使資本累積以致技術衰退率為正，或是使自然環境資源愈形稀少以致保留效益更為珍貴，森林的最適輪伐期都會延長。

由以上推演模式所得到的延長輪伐期及保留林木蓄積在未來有較大的效益的兩項論點，對森林資源的永續經營有以下的政策涵義。

- (I) 森林經營計畫投資優先次序的調整。增加森林遊樂、水土保持和生態保育的投資，減少開發伐木林道。另外，政府應對公共森林所提供的非木材生產性的服務收費，如遊樂區門票費、集水區水權費等。增加此類服務的現金收入，除了用以減少砍伐木材來籌措營林經費的壓力之外，並且可以提高木材生產以外的森林經營目標的投資，加強森林的環境保護效用。
- (II) 育林方式的改變。利用鄉土樹種天然下種的森林更新方法取代現在整個林地全面砍伐再以人工重新栽植的育林作業，可以減少對林地水土保持和森林生態的不利影響。做好林分密度控制，加強疏伐間伐的森林撫育作業，可以提高主伐期林木的品質及林地生產力。
- (III) 選擇栽植樹種的改變。可以選擇生長較緩但高品質的鄉土樹種取代由外地引進的速生低品質樹種，鄉土樹種對生態保育的效果較外來樹種更好，並且多樣化的鄉土樹種對景觀和遊樂的效果更有利。

V、結 論

本文對於如何決定森林最適收穫期的五種模式分別加以討論，其結果認為最大森林多目標利用及保留效益模式為其他效益模式的通例，並且由於該模式針對在不同的世代間，社會對於森林資源的開發效益和保留效益隨經濟發展在永續性的理念下會有不同的評價，而引進差異性折現率的觀念，更能較其他模式反映出台灣社會因經濟急速發展，致使資金大量累積，開發效益的社會評價遞減，以及自然生態環境遭受破壞而使保留效益的社會評價遞增的實際現象。從此模式所導出延長最適森林輪伐期和森林蓄積保留效益的社會評價增加的兩個論點，也顯示出目前注重森林遊樂、水土保持以及生態保育，乃至禁止砍伐天然林（延長伐期）的林業政策，在理論上也符合增加社會效益。

VI、參考文獻

1. 陳昭明 (1993) 永續發展的意義—森林經營的觀點（評論） 永續發展的意義討論會 台灣經濟預測與政策 24(1)：155～179。

- 2.楊榮啓、林文亮 (1992) 森林資源經營管理之多元化利用性及永續性 台灣林業 18(9): 12~16。
- 3.鄭欽龍 (1993) 非再生性資源的最適耗竭理論與資源的永續利用(評論) 永續發展的意義討論會 台灣經濟預測與政策 24(1): 212~215。
- 4.戴華 (1993) 「永續發展」的規範意涵 永續發展的意義討論會 台灣經濟預測與政策 24(1): 63~87。
- 5.羅紹麟 (1993) 永續發展的意義—森林經營的觀點 永續發展的意義討論會 台灣經濟預測與政策 24(1): 131~151。
- 6.Arrow, K. J. and R. C. Lind (1970) Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. *American Economic Review* 60:364-378.
- 7.Bowes, M. D. and J. V. Krutilla (1985) Multiple use management of public forestlands. In Kneese, A. and Sweeney, J. eds. *Handbook of natural resource and energy economics*. North-Holland, Amsterdam.
- 8.Fisher, A. C. (1981) *Resource and environmental economics*. Cambridge Univ. Press.
- 9.Hartman, R. (1976) The harvesting decision when a standing forest has value. *Economic Inquiry* 14:52-58.
- 10.Hartwick, J. M. and N. D. Olewiler (1986) *The economics of natural resource use*. Harper & Row, New York.
- 11.Heaps, T. and P. Neher (1979) The economics of forestry when the rate of harvest is constrained. *Journal of Environmental Econ. & Mgt.* 6:297-319.
- 12.Hellsten, M. (1988) Socially optimal forestry. *Journal of Environmental Econ. & Mgt.* 15:387-394.
- 13.Nguyen, D. (1979) Environmental services and the optimum rotation problem in forest management. *Journal of Environmental Econ. & Mgt.* 8:127-136.
- 14.Pearse, P. M. (1967) The optimum forest rotation. *The Forestry Chronicle*. 43:178-195.
- 15.Porter, P. (1982) The new approach to wilderness preservation through benefit-cost analysis. *Journal of Environmental Econ. & Mgt.* 9:59-80.
- 16.Samuelson, P. A. (1964) Discussion. *American Economic Review* 54:93-96.
- 17.Samuelson, P. A. (1976) Economics of forestry in an evolving society. *Economic Inquiry*. 14:466-492.
- 18.Tietenberg, T. (1992) *Environmental and natural resource economics* 3rd. ed. Harper Collins, New York.

19. Walter, G. R. (1980) Financial maturity and the sustainable yield concept. *Economic Inquiry*. 18:327-332.
20. World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*. Oxford Univ. Press, Oxford.