

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Agricultural Economics

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

下層疏伐與行列疏伐之經濟效益分析—

以花蓮林管處之兩個疏伐地為例

An Economic Benefits Analysis of Low
Thinning and Row Thinning Operations :
A Study on Two Thinning Cases under Hualien
Forest District Office

林信維

Hsing-Wei Lin

指導教授：林國慶 博士

Advisor: Kuo-Ching Lin, Ph.D.

中華民國 98 年 8 月

August, 2009

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

下層疏伐與行列疏伐之經濟效益分析—

以花蓮林管處之兩個疏伐地為例

An Economic Benefits Analysis of Low
Thinning and Row Thinning Operations :
A Study on Two Thinning Cases under Hualien
Forest District Office

本論文係林信維君 (R96627007) 在國立臺灣大學農業經濟學研究所完成之碩士學位論文，於民國 98 年 7 月 20 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

林國慶 (簽名)

(指導教授)

王亞男

柳婉郁

系主任、所長

曾錦 (簽名)

誌謝

本論文的完成，首先要感謝我的指導老師林國慶老師，領我穿越廣闊的學術之海，讓我不在繁多的研究方法中迷失而直搗問題的本質。學生還要感謝口試委員王亞男老師與柳婉郁老師細心審閱學生的論文，給予學生許多寶貴的意見，使論文更加完善。再者，本研究要感謝林務局局本部、花蓮林區管理處與台大實驗林管理處提供資料，尤其是周源樹先生、林鴻鵬先生、劉啟福先生、李佳霖先生與何學哲先生的協助。另外，學生還要感謝林試所邱志明組長、宜蘭大學林世宗老師、台大森林系郭幸榮老師、嘉義林區管理處楊宏志處長與系上的恩師張宏浩老師、吳珮瑛老師、雷立芬老師在研究過程與論文撰寫過程中的指導與鼓勵。

四時遞嬗、白駒過隙，研究所的兩年曾經令我困頓、迷惑，當陽光才剛穿透烏雲，照澈那迷惘的湖心，研究所生涯卻悄悄的進入到尾聲，而在這中間絕不能忘記感謝那些陪我一起笑過、一起哭過、一起發呆、一起走過風風雨雨、一起熬夜暴肝的夥伴們。謝謝禎育、厚傑、致銘、玩玩和綾憶，我是一個粗枝大葉的孩子，你們總是能即時的提醒我該做的事，並在困頓的時候拉我一把，因為你們，我了解什麼叫作刻骨銘心、令人動容的友情，這份情義林某永難忘懷。謝謝淑芫，妳燦爛的笑靨掃去我沉重的壓力，輕靈的倩影讓我忘記研究的疲憊，雖然，我只是妳的同學。謝謝妮妮、小品、華玉、宗昱、柏亨、小道、英哲、阿貴、書綺、醬醬與土風舞夥伴們的陪伴（打鬧）與鼓勵，你們讓我的研究生生活多采多姿。謝謝妮妮、瑩艷、柔因的協助與關心，如果沒有妳們，這份研究不可能及時完成。謝謝學長明璋哥、大川哥、大鈞、振源、阿華哥，在我懵懂不黯世事的時候，教我如何接人待物、如何在研究生活中處之泰然。還有謝謝森林背景的學弟振豪、學長俊廷，讓我提早對森林這個領域產生較為清楚的輪廓。還要謝謝宗慶、聰賢、老魔、小咪、瑛芳和俊翔哥的打氣。另外，我要謝謝我可愛的妹妹林冠冠在我意識模糊的時候幫我對目錄、圖次與表次，並在心情最糟的時候讓我發笑。

最後，也是最重要的，我要謝謝我的父母，父親林有根與母親李錦瓊是一對平凡但偉大的夫婦，他們有一個固執、自以為是、愛耍大牌的孩子，但即使這樣，他們還是對這個孩子無私無悔的付出，為他擔心、為他煩憂，並讓這個孩子能夠自由的追尋他的夢。



林信維

謹誌於

國立台灣大學生物資源暨農學院

農業經濟學研究所

中華民國九十八年八月

摘要

行政院農業委員會林務局為鞏固民生木材來源，提供不同規格木材資源之存量，計畫適度的對國有林林木經營區進行疏伐撫育。人工林如果不進行疏伐，將無法產生大徑級之木材，使林木資源之利用受限，因此，林務局督促各林區管理處，依據該林區管理處之林區森林經營計畫實施疏伐撫育。然而施行疏伐作業，必會面臨數個問題，包括如何進行疏伐、進行何種疏伐、何為最適之疏伐時間等。為使其施業後之疏伐空間對留存林分產生最大的效益，建立適當的流程與方法，評估不同疏伐方式所產生之效益是重要的課題。

花蓮林區管理處轄內柳杉造林地之柳杉林齡皆已超過30年，而林分鬱閉擁擠，因此該林區管理處欲施行中後期之疏伐撫育，以利留存木林分之生長。花蓮林區管理處於2008年在玉里事業區27林班，瑞穗林道兩旁之38年生柳杉造林地，辦理中後期疏伐撫育作業。林道上方採取單株下層疏伐，林道下方採取行列疏伐，下層疏伐之株數疏伐率為28.6%，行列疏伐則為40%。本研究以此疏伐案為例，進行下層疏伐與行列疏伐方式之經濟效益分析。

本研究先以徑級分配推估未疏伐與疏伐後之林分狀況，再參考以國立台灣大學實驗林管理處柳杉所建立之生長式，模擬修改其參數以符合林務局花蓮林區管理處轄內柳杉造林地之生長狀況，並由未來材積生長之推估來推測單一輪伐期內下層疏伐與行列疏伐之淨收益。

根據本研究之推估，下層疏伐部分的淨收益為-456,218元，行列疏伐部分的淨收益為-1,206,861元，疏伐木標售之收益低於疏伐成本。而在木材收穫率為87.36%、材積利用率70%、實質折現率0.7%、通貨膨脹率1.08%、木材實質價格隨通貨膨脹率增加與其他相關之假設下，比較林道上方柳杉林分不疏伐與下層疏伐，以及林道下方柳杉林分不疏伐與行列疏伐等四個方案在不同林齡主伐下之淨收益。根據本研究之推估，各方案之淨現值隨著林齡的增加而增加，而柳杉造林地若未疏伐，其淨收益會較疏伐林分之淨收益高，另外，下層疏伐林分之淨收益高於行

列疏伐林分之淨收益。以單一輪伐期平均每立方公尺材積之淨收益而言，未疏伐林分平均每立方公尺材積之淨收益高於已疏伐林分平均每立方公尺材積之淨收益，而林道下方行列疏伐平均每立方公尺材積之淨收益遠低於林道上方下層疏伐之平均每立方公尺材積之淨收益。

經本研究之比較分析後，本研究認為花蓮林區管理處現行之柳杉造林地不適合進行疏伐，疏伐會造成輪伐期內林地淨現值之減損，而行列疏伐所造成之損失比下層疏伐還大。另外，本研究建議花蓮林區管理處未來進行疏伐時，應先建立樣區，取得樣區資料，並量測實際的疏伐面積，在缺乏樣區資料與實際疏伐面積資料之經濟評估將造成估測上的誤差。

關鍵字：柳杉；疏伐；行列疏伐；下層疏伐；森林經營管理



Abstract

In order to consolidate the timber supply for the domestic consumption, and to provide the resource stock of different sizes of woods, the Forestry Bureau of the Council of Agriculture plans to conduct certain level of forest thinning in Timber Management Area of National Forest. If the forest thinning is not conducted, the plantation forest will not be able to generate large-diameter woods, and it will restrict the usefulness of timber. So the Forestry Bureau commands the Forest District Offices to conduct forest thinning in accordance with their forest district management plan. Forest District Offices however would face many challenges if they are going to conduct thinning operations. These challenges include how to conduct thinning, which forest thinning method should be used and to decide the best timing for thinning, etc. In order to make the retained trees after thinning to provide the maximum benefits, it is an important topic to establish a proper procedure and method to evaluate the benefits generated by different thinning methods.

Cryptomeria (*Cryptomeria japonica*) plantation at Hualien Forest District Office is more than 30 years. The forest stand is dense. Hualien Forest District Office decides to conduct forest thinning to promote the growth of retained trees. In 2008 Hualien Forest District Office conducted forest thinning on both sides of Jeisui logging trail in the 27th Forest Districts of Yuli Business District. For the forest above the logging trail, low thinning method was utilized and the thinning intensity was 28.6%. For the forest under the logging trail, row thinning method was utilized and the thinning intensity was 40%. Based on these two thinning cases, this study analyzes and compares the economic benefits of low thinning and row thinning methods.

This study uses the size-class distribution to estimate the state of stand before and

after thinning operation. This study then uses the stand growth model developed by the Experimental Forest Bureau of the National Taiwan University, and modifies parameters to fit the stand growth in Plantation Forest of Hualien Forest District Office. And lastly this study uses the estimate of the future growth of the timber volume to estimate the net present value of low thinning and row thinning under a single timber rotation.

Based on the estimate of this study, the net present value (NPV) of the net benefits of low thinning is -456,218 NTD dollars, the NPV of the net benefits of row thinning is -1,206,861 NTD dollars. The sale value of thinned timber is below the thinning cost. This study compares the NPVs of four different cases, such as unthinned stand and low thinned stand above logging trail, and unthinned stand and row thinned stand below logging trail, under the assumptions of 87.36% timber harvest rate, 70% timber utilization rate, 0.7% real discount rate, 1.08% inflation rate, and the constant level of the real prices of timber. Based on the estimate of this study, for all four cases the NPVs increase along with the increases of the timber age. And the NPV of unthinned stand is higher than the NPV of the thinned stand. Moreover, the NPV of low thinned stand is higher than the NPV of row thinned stand. Based on a single timber rotation, the NPV per m³ of unthinned stand is higher than the NPV per m³ of thinned stand. And the NPV per m³ of row thinned stand is smaller than the NPV per m³ of low thinned stand.

Based on the results of this study, it is therefore concluded that the plantation forest of Hualien Forest District is not appropriate for thinning. Thinning will result in the decrease of the NPV of the forest under one timber rotation, and the decrease of the NPV of row thinning is higher than the decrease of the NPV of low thinning. If Hualien Forest District decides to conduct forest thinning in the future, it is suggested that it should set up sample plots, to gather stand data before thinning, and to measure

the real thinning area. Evaluation without sample plot data and real measure of thinning area will result in evaluation error.

Keywords: Cryptomeria (*Cryptomeria Japonica*); Thinning; Row Thinning; Low Thinning; Forest Management.



目 錄

	頁次
口試委員會審定書	I
誌謝	II
中文摘要	IV
英文摘要	VI
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究步驟與流程	2
第四節 研究架構	3
第二章 文獻回顧	4
第一節 疏伐理論	4
第二節 疏伐對留存林分與林地環境之影響	11
第三節 疏伐的經濟效益	15
第三章 疏伐地疏伐前與疏伐後林分推估	17
第一節 疏伐木調查	18
第二節 推估行列疏伐木徑級之分配	22
第三節 推估行列疏伐前後林分之各徑級株數	24
第四節 推估下層疏伐前後林分之各徑級株數	27
第五節 推估實際疏伐面積	30
第六節 推估樹高與材積	30
第四章 實證模型設定與評估假設	33
第一節 林分生長模式	33
第二節 經濟評估模型與假設	40
第五章 實證結果與分析	50
第一節 林分生長之推估	50
第二節 主伐標售材積之推估	54

第三節 採行下層疏伐與行列疏伐林分之經濟效益分析	54
第四節 敏感度分析	61
第六章 結論與建議	67
第一節 實證結論	67
第二節 未來研究方向	70
參考文獻	71
附錄	75



表次

	頁碼
表 3-1 20.5 公頃柳杉造林地下層疏伐之疏伐木調查統計.....	19
表 3-2 30 公頃柳杉造林地行列疏伐之疏伐木調查統計.....	20
表 3-3 疏伐木各徑級株數之機率.....	25
表 3-4 推估林道下方 30 公頃柳杉造林地行列疏伐情形.....	26
表 3-5 推估林道上方 20.5 公頃柳杉造林地下層疏伐情形.....	29
表 3-6 花蓮林管處 27 林班柳杉永久樣區之樣木.....	31
表 3-7 樣區柳杉樹高曲線式模擬結果.....	31
表 3-8 推估下層疏伐前後林分概況.....	32
表 3-9 推估行列疏伐前後林分概況.....	32
表 4-1 高強 (1980) 所推估之參數.....	37
表 4-2 本研究估計林分生長之起始值.....	38
表 4-3 未疏伐林分生長模式參數.....	39
表 4-4 下層疏伐林分生長模式參數.....	39
表 4-5 行列疏伐林分生長模式參數.....	39
表 4-6 推估疏伐管理費用.....	44
表 4-7 主伐費用計算假設.....	45
表 4-8 主伐費用工作項目之計算單位價格.....	45
表 4-9 主伐費用計算假設.....	46
表 4-10 管理成本項目之計算單位價格.....	47
表 4-11 1999 年至 2008 年我國存款利率與消費者物價指數.....	48
表 5-1 疏伐之成本收益分析.....	55
表 5-2 不同價格利率下淨收益最大之輪伐期.....	65
表 5-3 不同價格與利率下之最大淨收益.....	65

圖次

	頁碼
圖 1-1 研究流程圖.....	3
圖 3-1 推估林道下方 30 公頃柳杉造林地疏伐木株數之分配.....	24
圖 3-2 推估林道下方行列疏伐前後各徑級株數.....	27
圖 3-3 推估林道上方下層疏伐前後各徑級株數.....	28
圖 4-1 推估臺大實驗林與本造林地柳杉材積生長.....	37
圖 5-1 推估各方案未來每公頃材積生長.....	51
圖 5-2 不同林齡下未疏伐林分胸徑之機率密度函數.....	52
圖 5-3 不同林齡下下層疏伐林分胸徑之機率密度函數.....	53
圖 5-4 不同林齡下行列疏伐林分胸徑之機率密度函數.....	53
圖 5-5 推估各方案之主伐可利用材積.....	54
圖 5-6 推估各方案林分之伐採成本（未折現）.....	56
圖 5-7 推估各方案林分之伐採成本（已折現）.....	57
圖 5-8 推估各方案每立方公尺材積之伐採成本（未折現）.....	58
圖 5-9 推估各方案每立方公尺材積之伐採成本（已折現）.....	58
圖 5-10 推估各方案林分之淨收益（已折現）.....	60
圖 5-11 推估各方案之每立方公尺材積平均淨收益（已折現）.....	61
圖 5-12 不同折現率下林道上方未疏伐方案之淨收益.....	62
圖 5-13 不同折現率下林道下方未疏伐方案之淨收益.....	63
圖 5-14 不同折現率下林道上方下層疏伐方案之淨收益.....	64
圖 5-15 不同折現率下林道下方行列疏伐方案之淨收益.....	64

第一章 緒論

第一節 研究背景與研究動機

第一屆地球高峰會議通過「森林原則」，該公約制定的目的在於呼籲人類維持森林資源永續發展與利用、兼顧世代發展以及重視經濟與環境之間的平衡，這開啟林木資源維護與環境保護運動之重要里程碑 (U.N., 1992)；而 2002 年於南非舉行之約翰尼斯堡地球高峰會議後，各國對於國內森林資源的管理更加重視，對林木砍伐的管制也更趨嚴格，尤其是出產熱帶原木的國家 (行政院國家永續發展委員會, 2004)。熱帶雨林的濫墾已造成人類在不同層面上的損失，包括物種流失、生物多樣性減弱與氣候環境的不穩定 (Angelo, 2005)，而我國的木材與合板加工業長期依賴熱帶原木，因此在各國管制趨嚴下，確保木材供給來源之議題值得我國多加關注。

就我國林務局而言，為鞏固民生木材來源、提供不同規格木材資源之存量，國有林林木經營區的疏伐撫育是迫切而且必要的。人工林若進行疏伐，林木將能產生較大徑級之木材，人工林所提供之林木資源用途將會更廣，因此林務局督促各林區管理處，依據該林區管理處之林區森林經營計畫實施疏伐撫育。

然林務局要施行疏伐作業時必會面臨數個問題，包括：如何進行疏伐、進行何種疏伐、疏伐之間隔時間、未來主伐之時間等，為使其施業後之疏伐空間對留存木與林分產生最大的效益，最適疏伐與最適輪伐期的建立是重要的議題。

我國關於疏伐的相關實證研究多為自然科學之研究 (羅卓振南等, 1987；羅卓振南、鐘旭和、邱志明, 1992；顏添明, 1993；羅卓振南等, 1997；李久先, 2006；顏添明, 2006)，較缺乏實證經濟評估層面的分析，而本研究藉由花蓮林管處之柳杉疏伐計畫調查資料，比較分析不同疏伐方法下之經濟效益。

花蓮林區管理處轄內之柳杉林分之林齡皆超過 30 年生，林分鬱閉擁擠，因此該林區管理處擇定玉里事業區 27 林班瑞穗林道兩旁之柳杉造林地，辦理中後期疏伐撫育，林道上方採取單株下層疏伐，林道下方採取行列疏伐，下層疏伐之株數疏伐率為 28.6%，行列疏伐則為 40%，而本研究利用該處所提供之資料進行經濟效益之分析。

第二節 研究目的

由前述之研究背景與研究動機可得知，以我國當前之人工林經營管理層面而言，疏伐研究是迫切而且必要的，本研究以 97 年度行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處 27 林班之柳杉疏伐案為例，判斷何種疏伐方式最符合經濟效益。故本研究之研究目的為比較分析進行下層疏伐與行列疏伐方式林分之經濟效益。

第三節 研究步驟與流程

根據第二節之研究目的，本研究之研究步驟如下：

- 一、整理分析疏伐之基礎理論、疏伐對環境效益之影響、疏伐經濟效益分析等相關文獻。
- 二、建立徑級模式推估林分資料。
- 三、設定評估之假設前提，並建立生長模式與經濟評估模型。
- 四、以柳杉造林地資料進行材積生長之估算。
- 五、根據假設前提與材積生長推估結果，計算未疏伐林分、下層疏伐林分與行列疏伐林分之淨收益並分析之。
- 六、提出結論與政策建議。

第四節 研究架構

本研究共分為六章：第一章為緒論，闡述本研究之動機、研究背景、研究目的、研究方法與步驟以及研究架構。第二章為文獻回顧，整理疏伐之基礎理論、疏伐對環境效益之影響、疏伐經濟效益分析等相關文獻。第三章為林分資料推估，以花蓮林區管理處所提供之疏伐木調查資料推測林分於未疏伐與已疏伐時之林分概況。第四章為實證模型設定與評估假設，介紹本研究的模型設定與經濟評估之假設前提。第五章為實證結果與分析，根據第三章估測之林分資料以及第四章之生長模式與經濟評估模型，計算並分析未疏伐林分、下層疏伐與行列疏伐林分之淨收益。第六章為結論與建議。

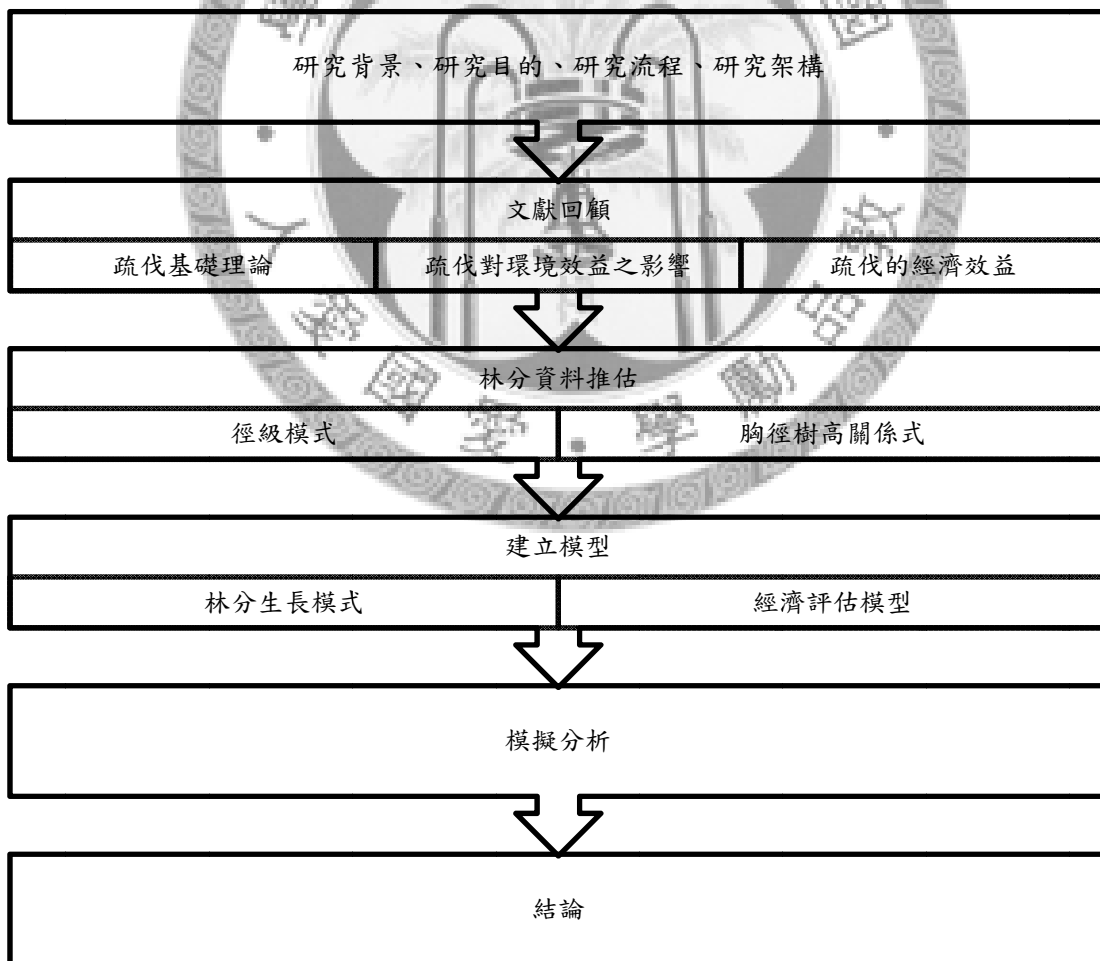


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章分為三節，第一節為疏伐理論，分別闡述疏伐定義、疏伐效應以及疏伐目的與應用。第二節為疏伐對留存林分與林地環境之影響，包括留存木、土壤、微氣候與碳吸存等影響。第三節為疏伐的經濟效益，回顧過去對最適疏伐與最適輪伐期在文獻上之探討與研究方法。

第一節 疏伐理論

疏伐為人工林中後期撫育的工作之一，人工林中後期撫育包括施肥、灌溉、除伐、疏伐、修枝等，而其中調整林分內植栽密度最主要的兩項工作就是疏伐與除伐。疏伐之意涵在於主伐前對部分之林木伐採，減少非目標林木、形質不良木等限制或壓抑，使林分早日成林、促進林木生長、改善林木品質並產生大型材（王子定、劉嘉昌，1964；郭寶章，2002；行政院農業委員會林務局羅東林區管理處，2006）。

過去文獻認為，疏伐藉由對已成林之林分進行多次伐採，控制林分的疏密度，促進留存木生長並且增加林分之總收穫材積，然林分在各發育階段之合適的林分疏密度不一，所以必須施行適於該發育階段之疏伐，疏開鬱閉林冠，擴展留存木之生長空間，增加樹冠之光合作用，促進根系發展，增加幹材之蓄積（王子定，1964、1966；楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976）。而顏添明（1993）與郭寶章（2002）認為留存木良好的生長與發育，除了增加材積、促進林木之優良質地外，還能夠讓林分抵抗各種危害，維持地力並增進森林各項功能。

綜合以上內容可以得知，疏伐屬於森林經營中後期撫育作業的間伐撫育，其方法是伐除林分中部分的林木，以疏開鬱閉的樹冠，降低林分密度，減緩林木競爭所衍生的問題。疏伐的目的隨著時間與疏伐方法而有所不同，以下分述探討之。

一、疏伐效應

人工林成林後，樹冠會隨林齡增加而增大，進而逐漸鬱閉，林木開始競爭，因為樹株間的生長不一致，林木逐漸分化成不同之等級，高於冠層的林木壓迫周遭的樹木並且奪取光照，被壓迫的樹株則因為失去生長空間與充足之光照，造成其生長遲緩，如果壓迫的情形沒有被解除，被壓迫的林木最後可能會枯亡。另外劣勢木、被壓木以及樹冠不完整、過大或過小優勢木的生長效率較低，建議將之伐除，使養分與空間提供給生長效率較高之林木利用，以增進其生長量（楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976）。

林木的樹高與林齡的關係最大，與疏伐度、林分密度較無明顯關係¹；而樹冠大小則是由樹冠生長空間而定，樹高與枝條枯死量的影響大，而枝條枯死量決定於林分密度和林木根系的發展；樹幹的直徑受到樹冠大小、水分及養分的影響；所以疏伐是否能促進直徑生長，由留存木對於疏開空間的利用能力及樹冠的再生能力而定，另外，疏伐對直徑的促進效果隨林齡增加而降低，30~40年生之柳杉的直徑生長逐漸減緩，尤其是較為矮小之樹（王子定、劉嘉昌，1964；楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976）。

若焦點集中在木材形質之改變，林分密度越密則樹幹越呈圓柱狀，而林分密度越疏則樹幹越為尖削，其原因在於樹冠重量與風的水平應力的形塑，風力影響下的林木較為尖削，疏林的風力影響較大，所以會提高尖削度（王子定、劉嘉昌1964）；另外，若林木之生長空間充分，則林木冠幅會較大較完整，充足的生長空間會阻止了自然修枝的現象，所以枝節數量較多（王子定、劉嘉昌，1964；邱志明、林振榮、王松永，2005）。在年輪與木材強度的部分，以針葉林而言，年輪越寬，比重越小，強度也較小，所以使用強度疏伐將林分疏開，生長空間突增，木

¹ 除非林分密度極大或極小，林分距離極大或極小常會造成樹高之生長停滯或停止，如果不是這種特殊情形，則樹高與林分密度關係無顯著影響，然仍森林界仍有部分說法，認為林分密度低，樹高會較低，但其差距並不明顯（Mäkinen、Isomäki，2004）。

材直徑增長過快，木材密度會變小，強度也隨之減弱（楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976；邱志明、林振榮、王松永，2005）。

過去台大實驗林做過不同強度的柳杉疏伐實驗，其結果顯示，疏伐林分之疏伐木與主伐材積總合與未疏伐林木之材積總和概略相等（楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976）。但並非所有的學者都認同疏伐作業不會改變總收穫量之理論，過去實證研究的結果依不同地點、不同樹種各有不同（Mäkinen *et al.*，2005）。

二、疏伐目的與應用

早期的林業界認為疏伐撫育的作用主要在於改進林分形質與可利用材積量，進而增加經濟價值（陳重銘，2002）。王子定（1966）認為，疏伐是：「新林於建造以後，或成熟林分間隔若干年，施行多次之伐採，藉以促進選留木之生長及林分之總收穫者。」。

而楊榮啟、陳昭明與林文亮（1976）認為疏伐目的有以下三點：

1. 由於「林分密度低，林木直徑生長快，林分密度高，直徑生長緩慢」與「林型、地位、林齡一定之林分材積總生長量常為一定」，所以疏伐能重新配置林分的生長潛力，將未來潛在的固定材積分配給少量的大樹或是多量的小樹。
2. 疏伐使「可使用材積」增加，採收即將枯死或未來可能枯死而尚未腐朽的「可利用林木」；另外，因為大樹可利用材積占總材積之比率大於小樹，造成大樹材積利用率較高，所以即使是生長之總材積一樣，疏伐將無利用價值的林木提早伐去，保留木長成大樹的機會變高，可利用材積也會增加。
3. 如果處於折現率較大的經濟環境，疏伐能夠在主伐前提早得到疏伐木之收益，使得輪伐期內的淨收益終值高於未疏伐林分。

另外有部分文獻認為可以藉由疏伐來調整輪伐期、調節伐採量與齡級分佈與森林組成、改變空間配置或利用疏伐控制多層林的層次與優勢木樹冠的混淆度，使樹冠長度能達正常標準（郭寶章，1964；楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976）。

然而近年在森林多目標利用、森林永續經營、維護生物多樣性等理念影響下，

疏伐在森林生態系經營與生物多樣性的營造受到重視。郭寶章（2002）認為，疏伐能夠改進林分密度與林分結構，使林內光量增加，促進地表的分解作用與地被植物的繁殖，提高林地的生產力與生物多樣性，並使之抵抗危害，增加水土保持之功能。新的疏伐概念除了重視林木生長收穫，更考慮到林分組成與林分結構等，疏伐的影響不僅只有林木，而是對整體森林生態系的影響，包括物種組成與野生動物等，所以適當的疏伐能改變地被植物之組成、增加野生動物族群量。行政院農業委員會林務局羅東林區管理處（2006）也認為：「疏伐雖可視為人為之干擾作業，然在生態系經營的理念下，其目的並非僅以林木生長空間調整為唯一目標，亦可藉由疏伐調整林分結構，使冠層呈現水平與垂直的變化，增加林分與地景結構的層次，由棲地多樣性，進而孕育物種與基因多樣性，達到提昇人工林物種多樣性之目標。」；另外，疏伐增加木材收穫，森林保育功能，減少森林遭受蟲害和火災危害（Matthews，1989）。

三、不同的疏伐方法

隨著 19 世紀育林學與森林經營管理研究的興起，德國、美國、丹麥、日本等地，各時期都有學者針對不同種類的林分與經營方式提出不同的疏伐方法。目前國內的疏伐的方法主要依據 20 世紀初日本寺崎渡氏疏伐法與美國 Hewley 所發表之理論，將疏伐方法分成定性疏伐與定量疏伐兩大類別。定性疏伐的意義就是先決定伐除林木之幹級或樹冠級，再決定伐除量（紀儀芝，2004），或是直接決定空間結構進行伐除。

（一）定性疏伐

一般而言，定性疏伐分為以下數種：

1. 下層疏伐（Thinning from below）

下層疏伐又稱為低層疏伐（Low thinning）或是普通疏伐（Ordinary thinning）。

從樹冠級數最低、生長最為不良之林木的開始伐採，直到達到要求的疏伐強度（王子定，1964），依行政院農業委員會林務局羅東林區管理處（2006）之選木次序如下：

- (1) 枯死木、瀕死木；
- (2) 受害木（包括風折為害木、鼠害木等）；
- (3) 不良傾倒木、彎曲木；
- (4) 被壓木；
- (5) 分叉木；
- (6) 擁擠之中庸木；
- (7) 次優勢木；
- (8) 優勢木。

強度較小的下層疏伐通常只伐採小樹，所以對於留存木營養與樹冠發展空間的增加有限，學者認為這種下層疏伐對於留存木促進效果主要在於減少根羣競爭（王子定，1964）。疏伐下的小樹常常無法銷售或有效利用，所以如果是在輪伐期的後半期實施，疏伐之小樹的利用價值較高。下層疏伐其通常只留下優勢木及次優勢木之類，所以選擇疏伐木的技術層次不高，因此選木發生錯誤的機會較小。另外，如果想使用下層疏伐來增加冠層的縫隙，應該採用較強的疏伐強度（王子定，1964）；而陳重銘（2002）引用學者郭幸榮與關秉宗（2001）稱：「強度疏伐通常以主伐時收獲的株樹為依據而留存林木，故只有在不再進行後續疏伐作業時才實施，或為進行林下增植耐陰樹種，建立複層混生林，以增加生物多樣性時實施」。

2. 上層疏伐（Thinning from above）

上層疏伐又稱為冠層疏伐（Crown thinning）或優勢木疏伐（Thinning in the dominant），主要伐採上層之次優勢木，如果優勢木與中庸木對目標之選留木生長不利，也一併伐除，而選留木的標準為幹形完滿通直、富成長潛力之優勢木、次

優勢木與中庸木。上層疏伐需要較高的技術水平來決定疏伐木，疏伐度也不易區別，所以其疏伐度通常以底面積或其他林分密度指數來決定。上層疏伐伐除上層較大的林木，所以疏伐的經濟收益通常比下層疏伐大。而上層疏伐後下層林木之樹冠較下層疏伐茂盛，所以能使選留木天然修枝，防止萌發擴張枝，並且庇護林地減少發生乾燥的情形（王子定，1964）。另外，因為上層疏伐使林分呈現垂直鬱閉（Vertical closure），所以能避免如下層疏伐較強之風害（王子定，1964）。

3. 選擇疏伐（Selection thinning）

選擇疏伐主要為伐除壯齡與老齡之優勢木，而這個方法為德國森林學家 Borggreve 所發展，他認為部分樹種之壯齡與老齡優勢木的枝條多、幹形彎曲，不適合製材，但仍有高度價值，如果適當伐採這些優勢木，則能刺激通直無節、枝條較少之次優勢木成長（郭寶章，1964）。所以陽性樹林分在植栽初期，材積蓄積常稀疏不規則，容易成為粗劣的優勢木，所以較適合以選擇疏伐伐除（王子定，1964）。

因此，理論上來說，選擇疏伐的收益會高於上層疏伐與下層疏伐，而其整體林分木材的利用率也高於他者，但選擇疏伐可能會讓林分生產減退，而且上層林木疏開，留存木若直徑肥大之反應較緩，樹幹仍細長，易遭風害。另外，長期施行選擇疏伐將生長旺盛的林木移除，剩下的留存木成為母樹，使次代非生長旺盛之品系（王子定，1964），對森林長期之經營有不好的影響。

4. 機械疏伐（Mechanical thinning）

機械疏伐的基本理念是調整林分的空間配置，因此其使用間隔與距離來選留與伐採林木，不管林木的冠層層級。適用於未施行過疏伐之擁擠幼林，幼林太密集以致於無法有效進行傳統之疏伐方式，另外，機械疏伐也用在尚未明顯分化冠層或是林分中優勢木數量充沛之林分，由於其選木標準為空間配置，所以不需高技術來選擇疏伐木（王子定，1964）。

機械疏伐主要分為兩種，第一種為間隔疏伐 (Spacing thinning)，第二種機械疏伐為行列疏伐 (Row thinning or line thinning)。間隔疏伐又稱為空間疏伐，施行的對象為過度擁擠之幼年林分，樹高約在 2 至 3 公尺時施行，先決定一個固定距離，選擇保留木，其餘林木則加以伐除，但實際施行時並不會如此僵化，有時候也會先決定較優良之留存木，再將選取範圍內之其他林木伐除。其適用於幼齡林分，然而疏伐下之林木太小以致於利用價值不高，所以一般而言，間隔疏伐只適用於第一次的疏伐 (王子定，1964)。

而行列疏伐的施行方法是依規定距離或是林木株數，施行行狀或帶狀的伐採，如砍一株留二株或砍四株留六株等。其唯一缺點就是無法選留較優良之留存木。由於人工林之栽植大多為直行，施行行列疏伐快速方便，而疏伐帶可作為運材使用，降低疏伐成本，所以建議其與其他疏伐合併施行，將行列疏伐之疏伐帶當作運材通道 (王子定，1964)，另外，行列疏伐也能利用在建立複層林與林相變更上。

5. 自由疏伐 (Free thinning)

德國森林學家 Herk 認為疏伐不應該被規則所限制，反對固定規則的疏伐法，所以提出自由疏伐的理念。自由疏伐目的為改變林相，使林分能夠生產良好樹形與高價值之林木，疏伐進行使林分的輪伐期變短，而且林分能夠連續生產木材；其主張疏伐的要旨在於價值生產而非材積生產，認為以樹冠級作為根據並不能充分說明林木適應環境所呈現之反應 (郭寶章，1964)。

(二) 定量疏伐

定量疏伐以森林測量學為基礎，依據疏密度預定表 (又叫疏伐指針，Thinning regime or thinning prescription) 或各種計算式調節立木株數 (林分密度)，而疏伐參考式或參考表，通常是以林分密度管理圖、疏伐試驗、林分調查之資料分析、育林學、經驗法則所產生 (行政院農業委員會林務局羅東林區管理處，2006；王子定、劉嘉昌，1964；陳重銘，2002)。

然而，我國疏伐施行的方法，通常是採用定性與定量混合的方式（陳重銘，2002），也就是同時決定疏伐量與疏伐方式，再依據擇木標準選取疏伐木，而我國採行的疏伐方法多為下層疏伐。

第二節 疏伐對留存林分與林地環境之影響

過去文獻對於疏伐對留存林分與林地環境影響之探討主要分成兩個類型，第一類文獻為討論疏伐對留存林分之影響，第二類為討論疏伐對林地環境之影響，本節依據此分類，將文獻整理如下：

一、疏伐對留存林分之影響

疏伐使留存木增大平均直徑、促進林分生長率與減少林木自然死亡率，但其他的疏伐效應如增加總收穫材積、可利用材積、減少林木高度，則沒有普遍認同的說法，依各地環境、不同樹種而有所不同。以史考特松生長的研究為例，Mäkinen *et al.* (2005)、Mäkinen 與 Isomäki (2004)、Eriksson 與 Karlsson (1997) 認為下層疏伐會同時減少總材積與可利用材積，而疏伐強度增加會使樹高增緩。但 Bucht (1981) 認為疏伐後會使樹高增加，Kramer 與 Jünemann (1984) 則指出輕度疏伐有助於材積的增加。

國內的實證文獻主要分成兩類，第一類以統計檢定疏伐效應是否具有顯著性，如羅卓振南等 (1987) 以六龜地區 22 年生的紅檜人工林為對象，進行下層疏伐試驗，其以每公頃胸高斷面積保留量作為疏伐強度判定標準，分成弱度疏伐（胸高面積保留 34 m²/ha）、中度疏伐（胸高斷面積保留 29 m²/ha）、強度疏伐（胸高斷面積保留 24 m²/ha）與未疏伐之對照組，並於七年後調查，研究發現強度疏伐處理過之林分其生長率與胸高直徑生長量之促進效果最明顯，而樹高成長則是中度疏伐較具效果，如以整體林分的絕對收穫量而言，中度疏伐最佳，另外，由於未疏伐

林分之樹冠鬱閉，部份中庸木與被壓木因為缺乏生長空間而枯死，每公頃的枯死林木達 157 株，經疏伐過的林分則無此現象，故其認為疏伐撫育作業有其必要性。而羅卓振南等（1991）在屏東林管處對 17 年生的台灣杉人工林進行下層疏伐與修枝，將不良幹形之林木伐除，改善林分結構，結果顯示中度疏伐與強度疏伐對胸徑、樹高、斷面積與材積、斷面積生長率與材積生長率都具有顯著性的影響。然而以上文獻之疏伐方式為下層疏伐，而且實驗目的皆在於留存木之收穫，羅卓振南等（1997）進一步以變更林相為主要目的，以棲蘭山區的柳杉人工林為實驗對象，進行砍二行留六行、砍三行留六行、砍四行留六行、砍五行留六行之行列疏伐，並在疏伐帶植種台灣杉、香杉、台灣扁柏、紅檜營造複層林，研究發現砍三行留六行、砍四行留六行、砍五行留六行之下層植栽生長較為良好，六年後造林木存活率約 90%，另外，香杉與台灣杉雖然生長較快，但卻出現風折或風倒的現象，而約有 31% 的香杉出現松鼠啃食樹皮的現象，所以作者認為原生之扁柏、紅檜樹種是較好的造林樹種。

第二類的文獻主要是建立生長模式，模擬分析疏伐對各生長量的影響，相關論文以 Weibull 機率密度函數模擬疏伐對人工林直徑分布之影響（李久先、陳朝圳，1985；羅紹麟、馮豐隆，1985；李久先等，1997）或是以 Richards 生長模式建立單木生長模型探討不同疏伐強度（李久先、顏添明，1998b；李久先、顏添明，1995；李久先、顏添明，2000）。李久先與顏添明（1995）應用 Richards 生長模式模擬分析推知疏伐對樹高未有顯著影響，卻能增進胸高斷面積和材積生長；而李久先與顏添明（2000），以不同疏伐度和齡級做為主要之變數，以 Richards 生長模式型式建立紅檜人工林的地位指數曲線，藉評估紅檜林分之生產力；另外，李久先與顏添明（1994、1998a）比較 Mitscherlich、Logistic、Gompertz 和 Richards 等生長模式，研究發現 Richards 生長模式不論在模擬胸徑、樹高或材積生長皆有較好的表現。我國雖然有較多的文獻探討 Richards 生長模式和 Weibull 機率密度，但魯先智（1982）、高強（1982）則以 Bertalanffy's 模式為基礎，加上生物定律以符合生物

學上之意義，處理柳杉的疏伐與未疏伐林分；另外，楊文琪（1992）使用管束模式理論探討大雪山 16 年生之紅檜在經過不同疏伐處理後光合作用組織量與非光合作用組織量的關係，模擬疏伐對立木品質之影響。然而本研究並沒有搜尋到討論相同疏伐強度但不同疏伐方法之我國實證文獻。

另外，我國研究所建立的各種實證之生長模式沒有將疏伐強度、疏伐方法納入模型之中，只要一進行疏伐，生長模式之參數就必須重新估計，而本研究認為，研究考量此兩個因素的生長模式是未來我國林業界必須持續努力的方向。

李宣德與馮豐隆（2001）認為森林生態系經營是當前所迫切的，而細胞自動化（Cellular automata）演算法，能夠在假設情境下模擬森林發展的方向，並且能顯示明確的空間分布與變化情形，其自我組織和反覆回饋的特色，恰好符合生態生物機制過程，使森林經營者更能掌握林木生長與地景變遷，能森林生態系經營規劃者、制定政策之決策者做為參考，如 Mathey *et al.* (2007) 與 Mathey *et al.* (2008)，在其他生態尺度與地域尺度等目標限制下，使用細胞自動化演算法，建立的森林經營管理規劃。

二、疏伐對林地環境之影響

疏伐對林地環境影響展現在疏伐對林地碳吸存與微氣候之影響以及疏伐對土壤環境之影響上。游偉青（2006）測量惠蓀林場杉木疏伐與未疏伐林分之土壤呼吸，發現疏伐作業會增加土壤呼吸與土壤之溫度，其由理論解釋，疏伐減少林地立木株樹，增加了土壤死亡根，使得根呼吸減少，留存木卻因為增加的生長空間與陽光，促進根系呼吸量，而微生物分解死亡根與伐下之枯枝落葉，增加了土壤呼吸，另外，疏伐後使光線得以射入林內，林分溫度增高增加微生物活性，讓土壤呼吸增加，使大氣中之二氧化碳濃度上升，然該文獻並沒有探討不同強度之疏伐對林地環境影響之差異。

由於不同強度之疏伐會造成林下透光率的差異，強度越高的疏伐，疏伐的透

光率越高、不同時間透光率的變異越大，其中強度疏伐後之林分 4-9 月溫度較高，其他強度疏伐之林分則無顯著性差異，中度疏伐林分內之相對濕度與土壤水勢較高，弱度疏伐與不疏伐次之，強度疏伐則最低，然而這些效果都會隨冠層鬱閉而逐漸減弱（翁世豪，2004），疏伐使林下光量與溫度增加的兩種效果能夠刺激微生物活動，林下枯枝落葉得以分解腐朽，增進地力，如果大量積具而未獲分解，林木則不能有效利用此有機物（郭寶章，1964；王子定、劉嘉昌，1964）。

而疏伐對土壤影響之國內實證研究，到近年才開始受到重視。莊舜堯等（2005）研究竹東柳杉未疏伐與不同強度疏伐後之林分土壤內氮的礦化與硝化作用之速率，結果顯示隨著疏伐度的上升，淨礦化速率、硝化速率、土壤礦化氮累積量皆隨之提高，但土壤無機氮之含量在各種強度疏伐處理下無顯著性差異。其認為疏伐降低了林分密度，增加地上的光照、溫度與水分，溫度與水分的提高有助於土壤氮的礦化，但疏伐強度的提高則會增加無機氮的淋失。疏伐對於林地其他土壤養分影響之實證研究如張瑀芳（2006），以和平事業區 61 林班的柳杉人工林為對象，研究指出疏伐讓林分孔隙的增加，所以疏伐會增加降雨淋洗速率，提高氯離子和硫酸根離子之含量，另外，疏伐能促進有機物分解與礦化作用，釋出鹽基離子，使土壤 PH 值提高，而疏伐引起的土壤溶液化學成分的改變則隨土壤深度而遞減。陳明杰（2007）認為疏伐之工作如伐木與木材搬出會使土壤擾動並壓密，使土壤大孔隙量減少、小孔隙量增加，通氣度與滲透的能力變差，增加逕流。鬱閉的林分由於下層缺乏光照，枯枝落葉分解緩慢，使腐植質供應減少，降低團粒作用，此土壤孔隙結構不良，下雨時則因為滲透不良而增加地表逕流，增加地表沖蝕；而高強度的疏伐將使地表裸露，較強的蒸發作用使土粒鬆散，土壤沖蝕量亦會增加；適當的疏伐作業能增加林下光照，使氣溫與土溫增加，促進地被植物之生長與枯枝落葉的分解，並改善土壤 PH 值與團粒構造，進而助於水分的滲透與儲存，但國內沒有比較不同疏伐方式對林地環境影響之差異，Hoover 與 Stout（2007）的研究指出不同的疏伐方法會改變林地的碳吸存量，其以賓州西北 1922、1923 年

建立的 Allegheny 硬木林分為實驗對象，該林分於 1975 與 1990 年在實驗地進行兩次上層商業性、中層商業性、下層非商業性疏伐，各種疏伐方法採行約 30% 至 40% 之疏伐強度，並包含不疏伐之對照組，其結果顯示此種強度之下層疏伐能夠促進碳吸存，並優於未疏伐林分與其他疏伐方法之林分。

第三節 疏伐的經濟效益

我國的疏伐經濟評估文獻不多，大多僅就疏伐作業成本做比較，早期的文獻如蔡鐘鎰（1977）以棲蘭山區的柳杉 14 到 18 年生的幼林為對象，對 207.3 公頃之林地連續施行三次弱度下層疏伐，每次間隔五年，首次疏伐平均疏伐斷面積為 16.07%，株數疏伐量為 22.65%，一旦末徑在 4.5 公分以上即行造材，造材率達到 80%，利用會計法計算疏伐費用，得到平均作業成本為每立方公尺 1,528 元，在省略造林成本下，平均盈餘為每立方公尺 584 元，疏伐木銷售價值足以抵償作業成本，並有 38.19% 之盈餘，而該篇文獻屬於事中評估，除了此文獻以外，國內完整疏伐經濟評估的研究皆為事前評估性質，也就是計畫在特定何時採取何種疏伐強度會產生較高的利潤，而這類文獻分為兩種，一種為使用 Faustmann 模型的文獻，Faustmann 模型為傳統林業經營的決策工具，以永續林業經營為前提，極大化林地期望值為基礎，高強（1980）即利用極大化林地期望值與三度空間動態規畫，來處理疏伐經濟分析，探討如何適度的運用早期非經濟疏伐、經濟疏伐、施肥與更新伐，值得一提的是，該模型內有對不同疏伐方式調整的變數，由疏伐前後之不同平均直徑來表示機械疏伐、選擇疏伐、下層疏伐，但其並無法充分反應疏伐對生長量的促進效果。

然而，我國疏伐經濟評估的研究中，考慮單一輪伐期之淨現值法比 Faustmann 模型來的普遍。同時使用單一輪伐期之淨現值法與林地期望值的文獻有楊榮啟、陳昭明與林文亮（1976），以電腦程式模擬不同設定下的淨現值與林地期望值，而

考慮單一輪伐期內之淨現值的如紀儀芝(2004)，其為評估東勢林區大安溪管理處的各林班的針葉人工林疏伐，使用簡單加權法將疏伐功能分為經濟性與公益性，其中的經濟性評估使用的為淨現值法，分析各種人工林合適的疏伐強度，其結果顯示紅檜、扁柏、台灣杉適合不處理，杉木與柳杉則依林班的不同有不同的最適疏伐強度，但由於該研究並無使用數理模型求出最適化的疏伐時間，主伐時間也被固定住，所以仍有所侷限；將疏伐時間最適化的文獻有高強(1982)，以台大實驗林柳杉疏伐的資料，結合 Schmacher、Clutter、Von Bertalanffy 的生長理論建立生長模式，再由成本收益法(淨現值)分析台大實驗林與林務局北部造林地，應用動態規畫正向求解，得出一般化的林業最佳經營模式，同樣在楊秋震(1983)，並同樣使用動態規畫求解方法，而疏伐時間為五年評估一次，比較最大材積收穫與最大經濟收益兩種目標，經濟收益的部分依然使用以單一輪伐期為依據之淨現值法。但前述使用淨現值法的研究並無考慮到不確定性因素，陳重銘(2002)以單一輪伐期之淨現值為評估依據，考慮16種已設定的柳杉疏伐方案，包含兩種疏伐時間、四種疏伐強度與疏伐木搬出與否等決策，使用蒙地卡羅模型處理計畫不確定因素，其結論為疏伐後15年主伐、強度疏伐、疏伐木搬出為淨現值最高的方案。但除了高強(1980)外，本研究所搜尋到之國內文獻都僅就不同疏伐強度之疏伐做規劃，沒有考慮不同疏伐方式對經濟收益會造成影響。另外，除了紀儀芝(2004)以外，其它的國內文獻沒有考慮疏伐對非市場效益的影響，而紀儀芝(2004)雖然考慮非市場效益之影響，但並沒有將此效益加以貨幣化。

Cao *et al.* (2006) 等認為最適林分管理的關鍵包括輪伐期長短、時間、頻率、密度和疏伐方式，而最適疏伐則牽涉林分生長模式和數量的最適，其分析芬蘭南部同齡林挪威雲杉的最適疏伐制度與輪伐期長短，結論為最適疏伐和輪伐期長短端賴地點的生育條件和原始林分的狀態，首次疏伐的形式應視林分密度而定。

第三章 疏伐地疏伐前與疏伐後林分推估

本研究之研究對象為花蓮林區管理處 97 年度進行疏伐之兩塊柳杉造林地，其位於瑞穗林道 13.5 公里至 14.1 公里。上方林地面積為 20.5 公頃，海拔高度約為 1,300 公尺至 1,500 公尺，坡度為 20 至 30 度，為東南坡向。該林分於民國 61 年度開始栽植，造林密度為每公頃 2,500 株，株距兩公尺，並於 2008 年進行疏伐木調查，林分密度約為每公頃 1,400 株。由於林道上方離嶺線衝風帶較近，不適合進行行列疏伐，故以下層疏伐為之，株數疏伐率為 28.6%。疏伐後預計搬出疏伐木材積 250 立方公尺，不搬出之疏伐木則截成 1 公尺長棄置於現場。

林道下方柳杉造林地面積為 30 公頃，海拔高度為 1,100 公尺至 1,300 公尺，坡度為 20 至 30 度，坡向同為東南向。其林分同於民國 61 年度開始栽植，造林方式與前林分相同，採砍四行留六行之行列疏伐，疏伐方向為順坡疏伐，並在留存之六行內進行下層弱度疏伐，移除留存林分中之劣勢木。行列疏伐的部分預計搬出疏伐木材積 650 立方公尺，不搬出之疏伐木截成 1 公尺棄置於現場。

疏伐撫育除了本身因工程與疏伐木標售之收益外，還會影響未來主伐時之收益，因此如欲對疏伐之經濟收益進行完整的推算，就必須了解疏伐後之留存木林分概況，並以留存木林分概況推估出未來林分生長情形。

然而花蓮林區管理處在本次疏伐之前並沒有對留存林分劃定樣區對樣區進行調查或進行全林分之調查，僅於疏伐前進行疏伐木調查，標定與紀錄須伐除與伐除後預計搬出林地之疏伐木，因此如果要對疏伐前林分與疏伐後留存林分概況有所了解，就必須以疏伐木調查資料進行推估。

而本章的目的在於對柳杉疏伐前後之林分資料進行推估。本研究先利用徑級分配模式推估林道下方行列疏伐之疏伐木徑級分配，在假設行列疏伐疏伐帶林分之徑級分配與疏伐前整體林分之徑級分配一致下，以疏伐帶之徑級分配推估行列疏伐前之林分徑級分配，並估計行列疏伐前後各徑級林木之理論次數，再假設林

道下方行列疏伐前林分徑級分配與林道下方下層疏伐前林分徑級分配相同，推估下層疏伐前各徑級林木之理論次數，並將此次數減去下層疏伐之疏伐木調查之登記次數推得下層疏伐後林分疏伐木之株數。最後進一步由推估出的各徑級分配次數帶入由附近之永久樣區資料所建立之胸高直徑樹高關係式，得出兩林分之平均樹高。

本章第一節為疏伐木調查，由花蓮林區管理處所提供之疏伐木調查資料發掘資料中所隱含之內涵與問題。第二節為推估行列疏伐木徑級之分配。第三節為推估行列疏伐前後林分之各徑級株數，假設行列疏伐林分之疏伐木分配與疏伐前後整體林分分配一致，推估疏伐前後林分各徑級之次數。第四節為推估下層疏伐前後林分之各徑級次數，假設兩林分疏伐前之林分徑級分配一致，推估林道上方下層疏伐疏伐前後之各徑級林木之次數。第五節為推估實際疏伐面積，由於該林區管理處僅提供造林面積之資料，並沒有實際疏伐面積之資料，這部分會在第五節加以推估。第六節為推估樹高與材積，假設附近永久樣區之林分與本研究對象之兩林分胸高直徑樹高之關係一致，利用該資料推估胸高直徑樹高關係式，模擬林分之各徑級林木之樹高，再由徑級與樹高推測其材積。

第一節 疏伐木調查

花蓮林區管理處之林道上下方之兩塊疏伐地，林道上方 20.5 公頃之柳杉造林地採行強度 28.6% 之下層疏伐，林道上方 30 公頃之柳杉造林地採強度約 40% 之行列下層疏伐，並於保留帶再進行一次極弱度之下層疏伐²，該處作業課提供本研究疏伐前所做的疏伐木調查之資料，本研究統計整理如表 3-1 與表 3-2。

其中林道上方之下層疏伐取出柳杉疏伐木 1,588 株，不搬出林地的疏伐木 4,234 株，合計疏伐截斷 5,822 株柳杉，本研究以各徑級之組中點算出取出疏伐木之平均

² 行列疏伐留存帶所進行的弱度下層疏伐缺乏資料，故本研究對這部分以假設的方式處理。

胸高直徑為 20.11 公分，而棄置林地疏伐木之平均胸高直徑為 15.48 公分，疏伐木平均之胸高直徑為 16.74 公分。由此數據可以發現取出林地疏伐木之平均胸高直徑高於疏伐木之平均胸高直徑，搬出林地之疏伐木的平均胸高直徑較大，一般而言，胸高直徑越大圓木價格越高，因此搬出的疏伐木為較有價值之疏伐木。

表 3-1 20.5 公頃柳杉造林地下層疏伐之疏伐木調查統計

徑級 (公分)	搬出林地株數 (株)	不搬出林地株數 (株)	各徑級總合 (株)
<6	0	2	2
6	0	42	42
8	0	284	284
10	2	531	533
12	37	878	915
14	145	938	1,083
16	327	664	991
18	366	303	669
20	310	238	548
22	185	142	327
24	102	61	163
26	48	62	110
28	22	30	52
30	15	34	49
32	16	9	25
34	3	3	6
36	4	4	8
38	3	4	7
40	1	1	2
42	1	2	3
44	1	2	3
總計	1,588	4,234	5,822

資料來源：行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處作業課提供。

註：本資料由花蓮林管處作業課會同工作站實測。

觀察搬出林地疏伐木株數與不搬出林地之疏伐木株數比例可以發現，該下層疏伐的疏伐木大多不搬出林地，另外，本研究觀察高價值之大徑疏伐木的部分，不搬出林地之數目仍多。以上兩個現象顯示疏伐作業必須考慮取用上的便利與否，而該取用方便性的問題會反應在集材成本上。若疏伐方式不屬於行列疏伐，疏伐木一旦遠離林道，取用之集材成本較為高昂，就會將該疏伐木截斷成一公尺長棄置林地。

表 3-2 30 公頃柳杉造林地行列疏伐之疏伐木調查統計

單位：株

徑級 (公分)	搬出林地株數 (株)	不搬出林地株數 (株)	各徑級總合 (株)
8	5	164	169
10	85	196	281
12	182	238	420
14	351	228	579
16	543	132	675
18	549	86	635
20	670	52	722
22	470	29	499
24	365	9	374
26	250	3	253
28	201	7	208
30	148	4	152
32	57	0	57
34	45	0	45
36	44	0	44
38	30	0	30
40	15	2	17
總計	4,010	1,150	5,160

資料來源：行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處作業課提供。

註：本資料由花蓮林管處作業課會同工作站實測。

其中林道下方的柳杉林分進行砍四行留六行之行列疏伐，並於六行保留林分中做極弱度之下層疏伐，花蓮林區管理處作業課表示，保留林帶疏伐之疏伐木徑級太小，而且保留林帶內取用不便，所以該下層疏伐之疏伐木全部棄置林地，然而林道下方之柳杉疏伐木調查資料與林道上方疏伐木調查資料略有不同，其僅記錄徑級大於 8 公分之柳杉疏伐木，如表 3-2。該林分取出徑級大於 8 公分之柳杉疏伐木 4,010 株，不搬出林地徑級大於 8 公分的疏伐木 1,150 株，合計疏伐截斷徑級大於 8 公分柳杉 5,160 株。本研究以各徑級之組中點算出取出徑級大於 8 公分之疏伐木平均胸高直徑為 21.52 公分，而棄置徑級大於 8 公分之疏伐木平均胸高直徑為 14.35 公分，徑級大於 8 公分之疏伐木平均之胸高直徑為 19.92 公分。

在行列疏伐柳杉造林地的部分一樣可以觀察到取出疏伐木之平均胸高直徑大於棄置疏伐木之平均直徑的現象，然在搬出林地株數與不搬出林地株數的比例上可以發現行列疏伐與下層疏伐的不同，行列疏伐在疏伐木截斷後形成帶狀的疏伐帶，疏伐木取出較為便利，因此搬出林地之株數比例大於不搬出林地之株數比例。

然而本研究在比較兩疏伐木調查資料後發現一個問題，一般而言，同樣疏伐面積與林分密度下，疏伐率越高，疏伐之株數也越高，但由該疏伐木調查資料比較發現，林道上方 20.5 公頃下層疏伐之疏伐木株數大於林道下方 30 公頃行列疏伐之疏伐木株數，本研究並不能確定造成此現象的原因，目前僅能經過實地現勘經驗與訪問專家學者推測原因，詳細資料仍必須由花蓮林區管理處實地測量。本研究推測造成此種現象原因在於林區管理處所提供之面積其實為造林面積而非疏伐面積，林道上方 20.5 公頃林地之實際疏伐面積不到 20.5 公頃，而林道下方 30 公頃林地之實際疏伐面積不到 30 公頃。林地之間常因為崩塌或是其他環境因素而自然更新為次生林，而次生林的面積不應算入疏伐面積之中，另外，部分因為地形地勢關係成為保留帶的林地不能進行伐採或疏伐。因此本研究由數據推測，林道下方 30 公頃不能進行疏伐之林地面積大於林道上方 20.5 公頃不能進行疏伐之林地面積，以致於造林面積 30 公頃之可疏伐林地面積小於造林面積 20.5 公頃之實際

疏伐林地面積。由於花蓮林管處並沒有實際疏伐面積的資料，實際疏伐面積的部分本研究將在第三節進行推估。

第二節 推估行列疏伐木徑級之分配

為對疏伐後之留存木生長與主伐之經濟收益推估，必須先了解疏伐前後兩林地之林分徑級分配狀況。然而本疏伐案能用以推估林分現況的資料不多，花蓮林管處並沒有在疏伐前紀錄全體林分之資料，其所具有之林分資料僅為疏伐木調查資料與造材完畢後疏伐木材積資料。所以本研究必須使用行列疏伐之疏伐木資料進行推估，由於行列疏伐是對空間配置做調整，在林地條件均質的假設下，各徑級之林木會平均分配於疏伐地之上，因此疏伐帶四行之林分徑級分配會與原林分之徑級分配、留存六行林分之徑級分配相等，所以對於行列疏伐之疏伐木徑級分配推估就等於對原林分疏伐木之徑級分配作推估。

我國過去的文獻中常以韋伯分配(Weibull Distribution)來配適林木徑級分布，然而 Palahi *et al.* (2007) 認為，若進行林分調查時忽略一定徑級以下之林木的情形存在，則使用截斷韋伯分配(Truncated Weibull Distribution)進行推估較為理想，由於行列疏伐之疏伐木調查不記錄胸徑小於 8 公分之林木，缺少徑級分配之左尾資料，因此本研究認為採用截斷韋伯分配會比未考慮截斷之韋伯分配更為合適。韋伯分配之機率密度函數(Probability Density Function, PDF)為式 3-1：

$$f(x|\alpha, \beta) = \beta \alpha x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} \quad (3-1)$$

其中 x 為胸高直徑，而 $f(x) = (x|\alpha, \beta)$ 為在參數 α 、 β 下該胸高直徑 x 之株數機率分配，而累計分布函數(Cumulative Distribution Function, CDF)為式 3-2：

$$p = F(x|\alpha, \beta) = \int_0^x \beta \alpha t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta} dt = 1 - e^{-\alpha x^\beta} \quad (3-2)$$

$F(x | \alpha, \beta)$ 代表在參數 α 、 β 下，胸高直徑 0 至 x 之間株數之累計機率。而在截斷左尾下，變成截斷韋伯分配，假設截斷在 T 點以左，其 PDF 為式 3-3 (Wingo, 1989)：

$$f(x | \alpha, \beta, T) = \beta \alpha x^{\beta-1} e^{-\alpha(x^\beta - T^\beta)} \quad (3-3)$$

使用最大概似法推估參數 α 、 β ，由截斷韋伯分配得出其概似函數為式 3-4：

$$L(\alpha, \beta) = n \log \alpha + n \log \log \beta + (\beta - 1) \sum \log \log x_i - \sum \alpha [x_i^\beta - T^\beta] \quad (3-4)$$

式 3-5、3-6 表示在一階條件為零下，可以得到最大的聯合機率密度。

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{n}{\alpha} - \sum [x_i^\beta - T^\beta] = 0 \quad (3-5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = \frac{n}{\beta} + \sum \log \log x_i - \alpha \sum [x_i^\beta \log \log x_i - T^\beta \log \log T] = 0 \quad (3-6)$$

本研究將砍四行留六行之行列疏伐伐除之 5,160 棵胸徑大於 8 公分之疏伐木帶入，由此 5,160 棵林木資訊求解機率密度分配，得到 $\alpha=7.70834E-05$ ， $\beta=3.0848$ 。

本研究將疏伐木資料所估得之機率密度分配做成各徑級區間株數如圖 3-1，該圖表示林道下方 30 公頃柳杉造林地行列疏伐前疏伐木調查紀錄之各徑級疏伐木不同情況，其中曲線的部分為截斷韋伯分配推估出之行列疏伐於疏伐帶中疏伐木之分配。

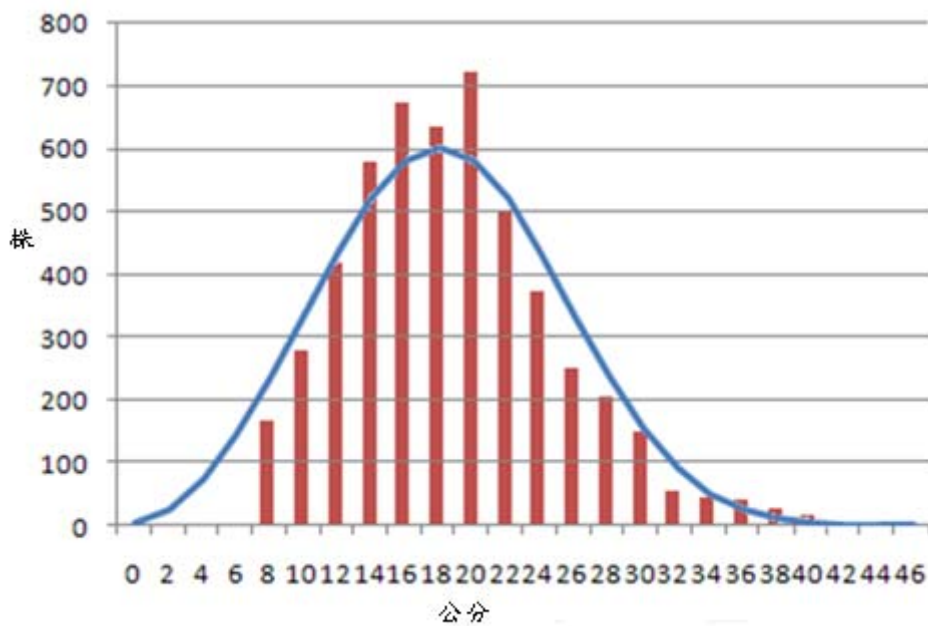


圖 3-1 推估林道下方 30 公頃柳杉造林地疏伐木株數之分配
資料來源：本研究推估整理。

第三節 推估行列疏伐前後林分之各徑級株數

本節的目的在於利用上一節推估之徑級分配，估算行列疏伐前後林分之各徑級分配株數。

在求得徑級之機率密度分配之各參數後，將參數值帶入韋伯分配之累計分布，並得到各徑級區間之內的株數機率，如表 3-3。

表 3-3 推估疏伐木調查忽略掉之左尾數量，並能估計行列疏伐前之林分株數。由於行列疏伐砍四行留六行的部分，理論株數疏伐率為 40% 左右，因此本研究將疏伐帶 5,160 株之柳杉當作是原林分內 40% 並且徑級大於 8 公分之柳杉數量，在計算後得出該行列疏伐地之疏伐前之柳杉株數為 13,522 株，再由該資訊推測保留帶之情形。

表 3-3 疏伐木各徑級株數之機率

徑級分組 (公分)	各組之機率 (%)	徑級分組 (公分)	各組之機率 (%)
2-4	0.48	24-26	8.02
4-6	1.37	26-28	6.16
6-8	2.68	28-30	4.38
8-10	4.34	30-32	2.85
10-12	6.22	32-34	1.69
12-14	8.09	34-36	0.92
14-16	9.68	36-38	0.44
16-18	10.77	38-40	0.20
18-20	11.14	40-42	0.08
20-22	10.75	42-44	0.03
22-24	9.63	44-46	0.00

資料來源：本研究推估整理

本研究將表 3-3 之株數機率乘以 13,522 株，推得各徑級情形如表 3-4（小數點以下四捨五入），由於傳統上胸徑小於 8 公分之林木不予登記，因此本研究計算與表列之柳杉林分徑級皆從 8 公分開始，而根據推測胸徑大於 8 公分的柳杉共有 12,898 株。

在推估行列疏伐後留存林分各徑級狀況的部分，因為該行列疏伐之保留帶有進行一個極弱度之下層疏伐，砍去劣勢木，但該疏伐的實際情況不明，林區管理處之作業課並沒有進行紀錄，也就是實際砍伐的株數超過 5,160 株，本研究假設該下層疏伐僅伐去胸高直徑徑級少於 10 公分之林木，將 10 公分以下之徑級株數設定為 0，而該株數合計為 6,882 株。

表 3-4 可以發現，林道下方之柳杉造林地進行行列疏伐後林分平均胸徑增加的現象，大於 8 公分之柳杉林分平均胸徑由 19.90 升高至 21.12 公分。另外，本研究利用已推估之徑級分配推測行列疏伐後之林分狀況，本研究將表 3-4 的資料繪成圖 3-2，其中黑色的部分是利用該韋伯分累計分布函數算出之各徑級株數機率，再推

估而得之疏伐前各徑級株數，灰色部分則是同樣以該分配推估而得之疏伐後各徑級株數。

由於本研究內容之行列疏伐前後林分的情況皆為推估，如欲了解推估部分與實際之差異，必須進一步對該林分取樣區，並對樣區做測量。

表 3-4 推估林道下方 30 公頃柳杉造林地行列疏伐情形

徑級 (公分)	推估疏伐前 林分各徑級株數 (株)	推估行列疏伐 留存林分各徑級株數 (株)
8	587	0
10	841	0
12	1,094	656
14	1,309	785
16	1,456	874
18	1,506	904
20	1,454	872
22	1,302	781
24	1,084	651
26	833	500
28	592	355
30	385	231
32	229	137
34	124	75
36	59	36
38	27	16
40	11	6
42	4	2
44	1	1
總計	12,898	6,882

資料來源：本研究推估整理。

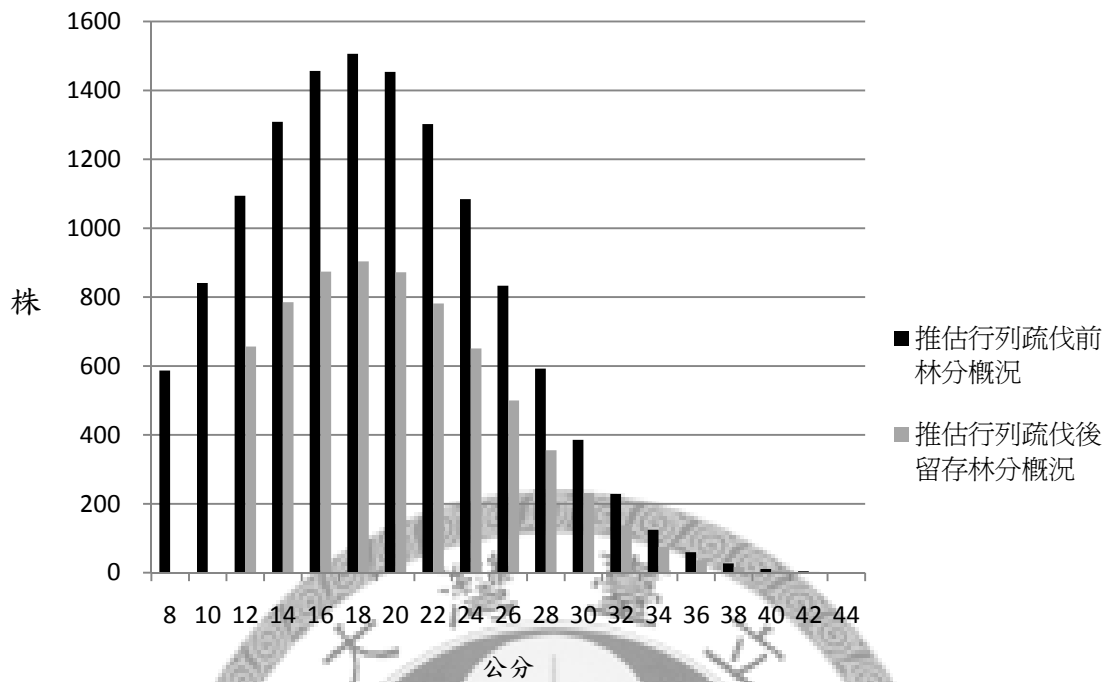


圖 3-2 推估林道下方行列疏伐前後各徑級株數

資料來源：本研究推估整理。

第四節 推估下層疏伐前後林分之各徑級株數

在林道上方進行下層疏伐的部分，由於疏伐強度不夠強，無法利用下層疏伐疏伐木調查資料以截斷韋伯分配推估其徑級分配，因此本研究僅能假設該林分於未疏伐時之林分概況與林道下方行列疏伐柳杉造林地於未疏伐時之林分徑級分配一致，如此才能進行疏伐前林分各徑級株數的推估。

林道上方之下層疏伐之疏伐強度為 28.5%，疏伐木株數為 5,822 株，因此估計疏伐前林分之總株數為 21,324 株，本研究將 21,324 株依照表 3-3 對各徑級之柳杉進行分配，並且依照慣例將小於 8 公分之林木略去。根據本研究推估結果，林道上方疏伐前平均胸徑大於 8 公分之柳杉約為 19,420 株。

為推估林道上方之柳杉造林地下層疏伐後，本研究將推論所得之未疏伐柳杉林分減去疏伐木調查之疏伐木紀錄，得到下層疏伐後留存林分各徑級之株數。然而推估至此卻發生兩個問題。

第一個問題，雖然花蓮林區管理處作業課解釋該下層疏伐實際為具考慮空間配置之下層疏伐，也就是在原本過疏的林地中會斟酌的進行疏伐，不會將所有的小徑木疏去，但根據過去進行過疏伐之學者專家如林業試驗所森林經營組的邱志明組長表示，下層疏伐後一定徑級以下之留存木幾乎不存在，建議本研究下層疏伐的推估留下徑級 12 公分以上之留存木，刪去徑級不到 12 公分之留存木，因此本研究參考其意見，因此我們得到下層疏伐後留存林分株數為 13,225 株。而由於小徑木的可利用材積少，對於整體林分材積的影響非常小，所以對於未來林分生長推估的影響不大。

第二個問題，在部分大徑級林木的部分，本研究所推估之株數在減去疏伐木調查資料大徑木株數後成為負值，正常狀況不應該出現負值，為了得到較為合理的結果，必須要進一步對推估結果調整，本研究的解決方式為對鄰近之徑級株數做調整，出現負值的部分以鄰近分組之株數來補，其推估結果如圖 3-3 與表 3-5。

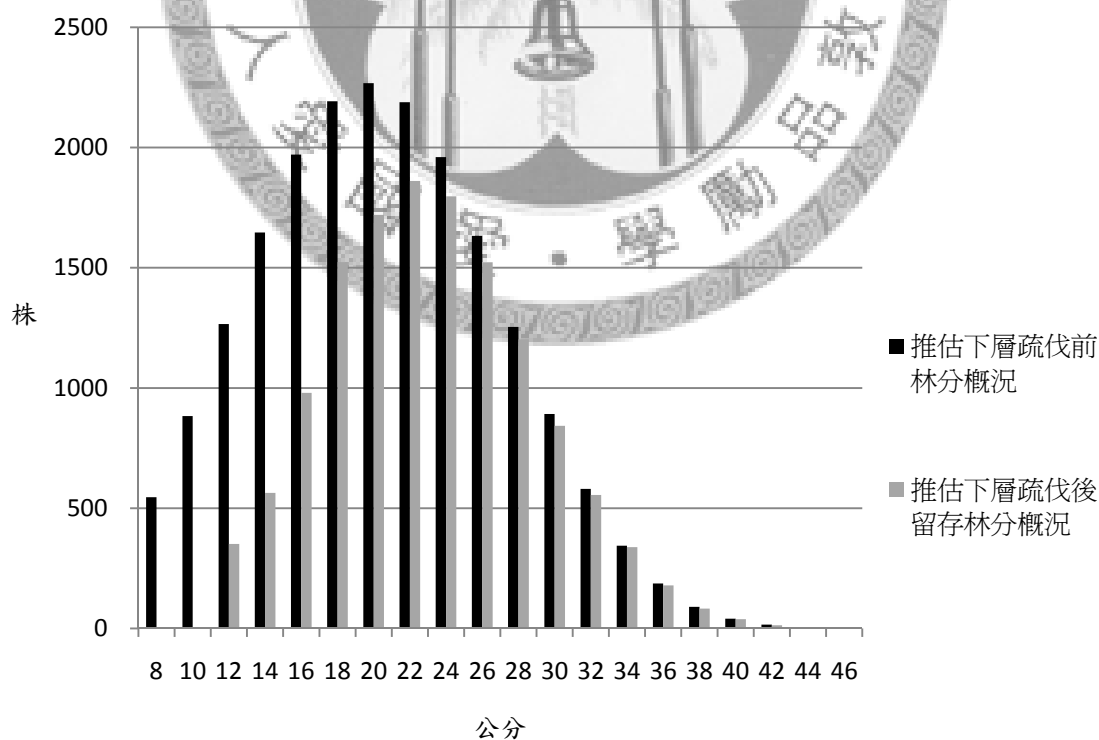


圖 3-3 推估林道上方下層疏伐前後各徑級株數

資料來源：本研究整理。

表 3-5 推估林道上方 20.5 公頃柳杉造林地下層疏伐情形

徑級 (公分)	疏伐木次數 (株)	推估疏伐前 林分各徑級株數 (株)	推估下層疏伐 留存林分各徑級狀況 (株)
8	>533	883	0
10	>915	1,266	0
12	1,083	1,647	564
14	991	1,971	980
16	669	2,192	1,523
18	548	2,268	1,720
20	327	2,188	1,861
22	163	1,960	1,797
24	110	1,633	1,523
26	52	1,254	1,202
28	49	892	843
30	25	580	555
32	6	344	338
34	8	187	179
36	7	90	83
38	2	41	39
40	3	16	13
42	3	6	3
44	0	2	2
總計	>5,494	19,420	13,225

資料來源：本研究推估整理。

由表 3-5 可推得，在下層疏伐前後大於 8 公分之柳杉林分平均胸徑由 19.91 公分提高至 22.38 公分。將表 3-5 繪成各徑級疏伐前後之直條圖 3-3，黑色部分是本研究推估下層疏伐前各徑級之狀況，灰色則是下層疏伐後留存木各徑級之狀況。

第五節 推估實際疏伐面積

由於本次疏伐所規劃的面積為造林地面積而非疏伐面積，因此本研究必須使用所擁有之資料盡可能的推估出有效的疏伐面積，以花蓮林管處作業課提供之資料認定一公頃的柳杉株數為 1,400 株，由 1,400 株回推實際的疏伐面積，並由推估出之母體株數除以每公頃平均株數，估得 20.5 公頃之下層疏伐柳杉造林地實際的疏伐面積為 13.87 公頃，而 30 公頃的行列疏伐柳杉造林地實際疏伐面積為 9.21 公頃。

第六節 推估樹高與材積

由於花蓮林區管理處在疏伐前並沒有對該疏伐地設定樣區，所以無法得知兩造林地柳杉樹高的資訊，因此本研究假設花蓮林管處 27 林班柳杉造林地之柳杉與該林分旁一個永久樣區之柳杉之樹高與胸徑關係相似，所以用該永久樣區資料建立胸徑樹高模式。永久樣區之林分資料如表 3-6，樣區之柳杉為 37 年生同林齡之柳杉，柳杉株數為 32 株，其中可以觀察到編號為 17、18、20、23、29 的柳杉胸徑大約在 25 至 35 公分之間，而其樹高皆已達 25 公尺以上，編號 19 與 26 柳杉之樹高甚至達到 28 公尺。

本研究將該樣區資料以半對數模式、全對數模式與顏添明（2006）所使用之模式回歸，結果如表 3-7，其中 H 代表樹高，D 代表胸高直徑。最後以判定係數決定最合適之胸徑樹高曲線式為半對數模式。

本研究將各徑級組中點帶入該胸徑樹高曲線模式得到各徑級之平均樹高，並對照台灣林產處分調查用立木材積表（台灣省林務局，1997），以徑級與樹高對照每株林木之材積量，估得林道上方下層疏伐與林道上方行列疏伐前後每公頃之平均樹高與材積。本研究推估之疏伐前後林分資料如表 3-8 與表 3-9。

表 3-6 花蓮林管處 27 林班柳杉永久樣區之樣木

編號	胸徑 (公分)	樹高 (公尺)	編號	胸徑 (公分)	樹高 (公尺)
1	30.0	25	17	24.7	25
2	23.3	19	18	33.5	27
3	18.0	21	19	25.0	28
4	22.2	12	20	16.9	13
5	24.0	20	21	30.0	25
6	33.5	24	22	32.0	26
7	26.5	23	23	34.0	27
8	33.0	23	24	12.2	10
9	29.7	25	25	15.3	13
10	20.4	19	26	32.1	28
11	23.2	14	27	40.1	20
12	30.6	22	28	15.6	8
13	23.1	21	29	35.5	27
14	17.6	12	30	13.9	8
15	15.0	13	31	14.8	15
16	16.6	18	32	22.5	11

資料來源：行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處作業課提供，本研究整理。
註：該資料為永久樣區實測資料。

表 3-7 樣區柳杉樹高曲線式模擬結果

模式	數學式	參數		R ²
		a	b	
模式一	$H = a + b \ln D$	-30.4266	15.8292	0.6600
模式二	$\ln H = a + b \ln D$	-0.0148	0.9268	0.6425
模式三	$H = \left(\frac{D}{a + bD}\right)^2$	2.5141	0.1247	0.6388

資料來源：本研究整理估計。

表 3-8 推估下層疏伐前後林分概況

假設疏伐前每公頃株數	1,400.00 株	疏伐前平均胸徑	19.91 公分
疏伐前 30 公頃株數	19,420.00 株	疏伐後平均胸徑	22.38 公分
可疏伐林地面積	13.87 公頃		
疏伐後株數	13,225.00 株	疏伐前平均樹高	15.16 公尺
疏伐後每公頃株數	953.40 株	疏伐後平均樹高	17.54 公尺
疏伐前斷面積	665.56 平方公尺	疏伐前材積	4,918.97 立方公尺
疏伐前每公頃斷面積	47.97 平方公尺	疏伐前每公頃平均材積	354.61 立方公尺
疏伐後斷面積	550.60 平方公尺	疏伐後材積	4,267.33 立方公尺
疏伐後每公頃斷面積	39.69 平方公尺	疏伐後每公頃平均材積	307.63 立方公尺

資料來源：本研究推估整理。

表 3-9 推估行列疏伐前後林分概況

假設疏伐前每公頃株數	1,400.00 株	疏伐前平均胸徑	19.90 公分
疏伐前 30 公頃株數	12,898.00 株	疏伐後平均胸徑	21.12 公分
可疏伐林地面積	9.21 公頃		
疏伐後株數	6,882.00 株	疏伐前平均樹高	15.16 公尺
疏伐後每公頃株數	747.00 株	疏伐後平均樹高	16.47 公尺
疏伐前斷面積	441.93 平方公尺	疏伐前材積	3,265.80 平方公尺
疏伐前每公頃斷面積	47.97 平方公尺	疏伐前每公頃平均材積	354.48 平方公尺
疏伐後斷面積	258.12 平方公尺	疏伐後材積	1,944.33 平方公尺
疏伐後每公頃斷面積	28.02 平方公尺	疏伐後每公頃平均材積	211.05 平方公尺

資料來源：本研究推估整理。

林道上方下層疏伐之柳杉造林地的部分，徑級大於 8 公分之柳杉平均樹高由 15.16 公尺變成 17.54 公尺，疏伐前後每公頃平均材積從 354.48 立方公尺減至 307.63 立方公尺。林道下方行列疏伐之柳杉造林地的部分，徑級大於 8 公分之柳杉平均樹高由 15.16 公尺提高至 16.47 公尺，疏伐前後每公頃平均材積從 354.48 立方公尺減至 211.05 立方公尺。

第四章 實證模型設定與評估假設

本章的目的在於建立實證分析之假設前提與模型設定。若要進一步對本案之下層疏伐與行列疏伐林分未來之收益進行推估，則必須先模擬未來林分生長的狀況，在本研究中，由於過去林分資料的缺乏，僅能修改並使用過去前人所估得的柳杉林分生長模式推測未來林分材積蓄積的生長，假設未來於時點 t 進行一次主伐，將材積蓄積取出標售，並進行淨現值評估，因此必須進一步對主伐費用之推估、主伐管理成本之推估、折現率、柳杉木材價格等做假設。

本章分為兩節，第一節為林分生長模式，第二節為經濟評估模型與假設。

第一節 林分生長模式

一、林分材積生長

在推估疏伐完林分現況後，如欲討論不同疏伐作業對留存林分生長之影響，必須使用生長模式進行模擬，比較不同疏伐作業下留存林分之生長，但由於花蓮林管處並沒有已推估好的生長模式可以使用，而且該林分實測資料缺乏，本研究所具備林分資料僅為第三章所推估出之單一時間點之資料，不能以林分生長之時間序列資料代入林分生長模式求解，因此本研究在處理材積生長部分，會以過去文獻所建立的模型進行調整與模擬。

本研究參考高強（1980）、高強（1982）、陳重銘（2002）以及李國忠、陳毓華與魏名聰（2000），該研究以台大實驗林管理處之 800 筆柳杉樣區資料推估之生長模式，本研究就以其估得之生長函數為基礎進行模擬。

高強（1980）以 Schumacher（1939）為基礎，假設單位面積之材積為林齡之函數：

$$\ln V = a \left(\frac{1}{A} \right) + K \quad (4-1)$$

其中 V 為目標時期之材積， A 為林齡，由上式可得連年生長模式 4-2：

$$\frac{dV}{dA} = -aVA^{-2} \quad (4-2)$$

將連年生長模式積分可得總生長模式：

$$\ln V = \ln V_0 + a(A^{-1} - A_0^{-1}) \quad (4-3)$$

V_0 為起始材積， A 為目標林齡， A_0 為起始林齡，然而除林齡外還有如密度、地位級等因素決定林木之生長，因此參考 Clutter (1963) 之收穫模式：

$$\ln V = a_0 + a_2 A^{-1} + a_3 (\ln H_d) + a_4 (\ln B) + a_5 (\ln N) \quad (4-4)$$

將期初之優勢木與次優勢木樹高(地位級之代理變數)、單位面積胸高斷面積、單位面積林木株數等加入該模型中，其修改後之生長模式如下：(高強，1982)

材積式

$$\ln V = a_0 + a_1 A_0^{-1} - a_2 A^{-1} + a_3 (\ln H_{d0}) + a_4 (\ln B_0) + a_5 (\ln N_0) \quad (4-5)$$

胸高斷面積式

$$\ln B = b_0 + b_1 A_0^{-1} - b_2 A^{-1} + b_3 (\ln H_{d0}) + b_4 (\ln B_0) + b_5 (\ln N_0) \quad (4-6)$$

單位面積株數式

$$\ln N = c_0 - c_1 A_0^{-1} + c_2 A^{-1} - c_3 (\ln H_{d0}) + c_4 (\ln B_0) + c_5 (\ln N_0) \quad (4-7)$$

優勢木胸高斷面積式

$$\ln H_d = d_0 + d_1 A_0^{-1} - d_2 A^{-1} + d_3 (\ln H_{d0}) \quad (4-8)$$

$a_0、a_1、a_2、a_3、a_4、a_5、b_0、b_1、b_2、b_3、b_4、b_5、c_0、c_1、c_2、c_3、c_4、c_5、d_0、$

$d_1、d_2、d_3$ 為參數

A_0 ：基期林齡

A ：目標期林齡

H_{d0} ：基期之優勢木與次優勢木平均樹高

H_d ：目標期之優勢木與次優勢木平均樹高

B_0 ：基期之胸高斷面積（單位面積）

B ：目標期胸高斷面積

V ：材積

高強（1980）利用台大實驗林管理處 17 個柳杉試驗、35 個樣區之資料推估之生長函數，柳杉起始林齡為 9 年生至 56 年生不等，最終之實測林齡為 11 至 70 年生，因此對本研究而言，此生長模式非常具有參考價值。其估計模式如下：

材積式

$$\ln V = 0.866 + 16.429 A_0^{-1} - 21.910 A^{-1} + 1.087 (\ln H_{d0}) + 0.465 (\ln B_0) + 0.050 (\ln N_0) \quad (4-9)$$

$$R_B^2 = 0.982$$

$$d.f. = 797$$

胸高斷面積式

$$\ln B = 0.202 + 9.230A_0^{-1} - 12.621A^{-1} + 0.457(\ln H_{d0}) + 0.367(\ln B_0) + 0.149(\ln N_0) \quad (4-10)$$

$$R_B^2 = 0.949$$

$$d.f. = 797$$

單位面積株數式

$$\ln N = 0.276 - 0.193A_0^{-1} + 0.449A^{-1} - 0.016(\ln H_{d0}) + 0.002(\ln B_0) + 0.964(\ln N_0) \quad (4-11)$$

$$R_B^2 = 0.997$$

$$d.f. = 797$$

優勢木樹高估計式

$$\ln H_d = 1.325 + 5.844A_0^{-1} - 10.610A^{-1} + 0.641(\ln H_{d0}) \quad (4-12)$$

$$R_B^2 = 0.987$$

$$d.f. = 799$$



表 4-1 高強 (1980) 所推估之參數

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.86647096	16.428966	-21.910455	1.0866724	0.46472197	0.050231886
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0.20247527	9.2303231	-12.62115	0.45736821	0.36696504	0.14900362
d_0	d_1	d_2	d_3		
1.3251045	5.8437691	-10.610497	0.64106667		

資料來源：高強，1980。

另外，由材積式之函數形式可以發現，在其他條件不變下，固定兩年之材積、胸高斷面積、優勢木樹高生長百分比為定值，本研究帶入台大實驗林管理處數個密度較相近之柳杉樣區資料，三叉崙為每公頃 841 株，45-197 樣區則是每公頃 1,586 株，49-1 樣區柳杉每公頃 1863 株，39-173 樣區為每公頃 1,085 株，樣區柳杉生長模式推估如圖 4-1。以此生長模式模擬，得到各柳杉造林地 36 年至 38 年間，材積成長 3.26%，胸高斷面積生長 1.86%，優勢木樹高生長 1.56%。

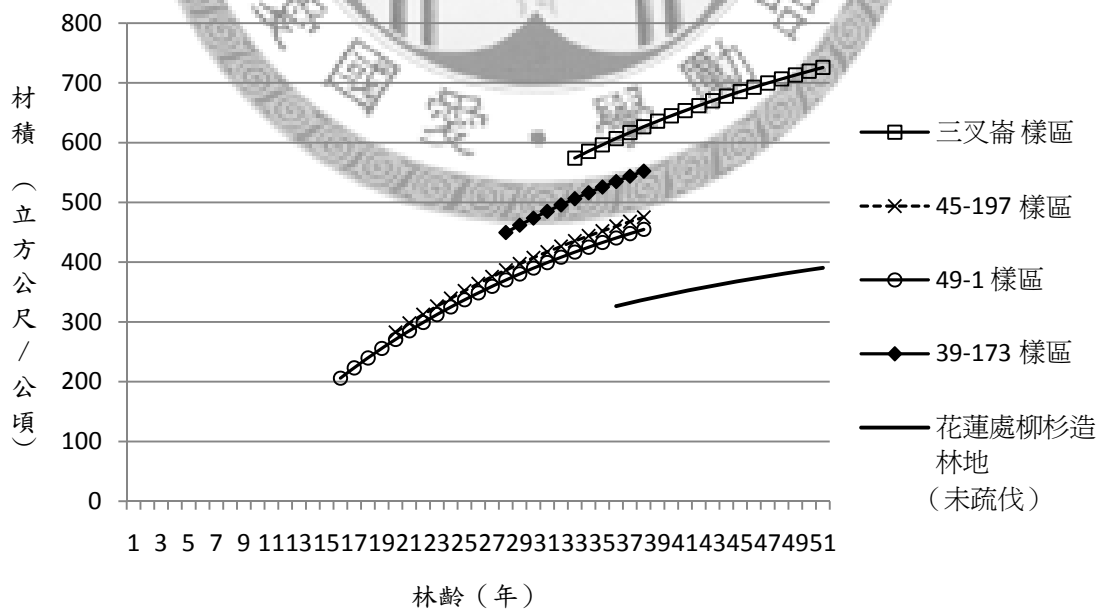


圖 4-1 推估臺大實驗林與本造林地柳杉材積生長

資料來源：高強，1980，本研究整理。

本研究假設本案造林地過去年度至 38 年生時所生長之比率如同模式所設定，先由 38 年生之資料以固定比率回推 36 年生之狀況，再由該狀況帶入模式，得到模式推估之 38 年資料，比較此推估與原 38 年生柳杉造林地之概況，再由調整截距項參數來使推估與 38 年生造林地概況一致。

而樹高的部分，由平均樹高-優勢木樹高實驗式得出優勢木平均樹高，該式為 (4-13)：

$$\text{優勢木平均樹高} = 2.0621 + 0.9949 \times \text{平均樹高} \quad (4-13)$$

將平均樹高帶入上式，本研究所得到的優勢木平均樹高為 17.14 公尺。

表 4-2 本研究估計林分生長之起始值

地點	每公頃株數	起始值		
		林齡 (年)	胸高斷面積 (平方公尺)	優勢木樹高 (公尺)
未疏伐	1,400	38	47.98	17.14
下層疏伐	954	38	39.69	17.14
行列疏伐	747	38	28.02	17.14

資料來源：本研究整理。

在材積式的部分， a_0 為截距項， a_3 、 a_4 、 a_5 代表的是每公頃立木株數增減之百分比對材積百分比所造成的影響，然而本研究為疏伐後評估，38 年之胸高斷面積、優勢木平均樹高、每公頃立木株數都已固定，故調整 a_0 與調整 a_3 、 a_4 、 a_5 變動的皆為截距項，為求簡化，本研究僅調整 a_0 截距項。樹高式與胸高斷面積式之推估方式依此類推。未疏伐林分、下層疏伐與行列疏伐林分之參數調整如表 4-3、表 4-4 與表 4-5。

然而該生長模式有一個嚴重的問題，即為前述之固定兩年間生長比率固定，這使得疏伐對留存林木生長之效益無法被有效的衡量，本研究由於資料的限制，無法對此部分做假設，還有待後續監測資料補上，再對其他參數調整。

表 4-3 未疏伐林分生長模式參數

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.766	16.429	-21.910	1.087	0.465	0.050
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0.142	9.230	-12.621	0.457	0.367	0.149
d_0	d_1	d_2	d_3		
1.147	5.844	-10.610	0.641		

資料來源：本研究整理。

表 4-4 下層疏伐林分生長模式參數

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.732	16.429	-21.910	1.087	0.465	0.050
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0.111	9.230	-12.621	0.457	0.367	0.149
d_0	d_1	d_2	d_3		
1.155	5.844	-10.610	0.641		

資料來源：本研究整理。

表 4-5 行列疏伐林分生長模式參數

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.529	16.429	-21.910	1.087	0.465	0.050
b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
-0.086	9.230	-12.621	0.457	0.367	0.149
d_0	d_1	d_2	d_3		
1.147	5.844	-10.610	0.641		

資料來源：本研究整理。

第二節 經濟評估模型與假設

本節介紹本研究所使用的經濟評估模型，並對各項成本細項計算方式與評估設定做假設。由於花蓮林管處對兩塊林地未來的經營的方向不確定，因此使用單一輪伐期之淨現值做為評估依據。

一、經濟評估模型

本案疏伐作業進行後，林道下方之柳杉造林地將會營造成異質林，然而花蓮林區管理處對兩林地未來的經營管理策略未定，難以估計多輪伐期下之林地期望值，所以本研究只考慮單一輪伐期，而定義林分在單一輪伐期內之淨現值如式(4-14)

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{f(t)p(t)}{e^{rt}} - \left(\frac{s}{e^r} + \frac{s}{e^{2r}} + \dots + \frac{s}{e^{nt}} \right) - \frac{C(t)}{e^{nt}} \\ &= \frac{f(t)p(t)}{e^{nt}} - s \left[\frac{e^r - 1}{(e^r - 1) e^r} \right] - \frac{C(t)}{e^{nt}} \\ &= \frac{f(t)p(t) - C(t)}{e^{nt}} - s \left[\frac{e^r - 1}{(e^r - 1) e^r} \right] \end{aligned} \quad (4-14)$$

t : 主伐時間 (年)

$f(t)$: 在第 t 時點之主伐材積

$p(t)$: 在第 t 時點之單位材積價格

r : 折現率

s : 管理成本

然而，本研究屬於疏伐之評估，林業管理單位在初始時點上進行疏伐決策，過去之支出與收益將不列入評估之考量，而且以我國國有林當前之經營方式，疏

伐後至主伐前並沒有對國有林地做其他管理撫育的措施，故假設期間管理成本約等於零。另外，由第四章可知花蓮林區管理處經濟營林區林地總面積與每年疏伐面積差異極大，以目前預算編列的情況，林分在單一輪伐期內平均做不到一次疏伐，故本研究僅考慮單一輪伐期內一次性疏伐後之決策。假設主伐只考慮材積收獲，並在疏伐後之第 t 年進行主伐，其淨收益如式 (4-15)：

$$NPV(t) = \pi_{thinning|m} + \pi_{final|m}$$

$$= [f(0|m)p(0) - C(0|m)] + \left[\frac{f(t|m)p(t) - C(t|m)}{e^{rt}} \right] \quad (4-15)$$

$\pi_{thinning|m}$ ：疏伐利潤。

$\pi_{final|m}$ ：主伐利潤。

t ：疏伐後至主伐之期間， $t > 0$ 。

$f(0|m)$ ：施行第 m 種疏伐方法下之可利用材積。

$p(0)$ ：疏伐木可利用材積之單位價格。

$C(0|m)$ ：施行第 m 種疏伐方法之疏伐成本。

$f(t|m)$ ：施行第 m 種疏伐方法下之主伐材積。

$p(t)$ ：在第 t 時點主伐可利用材積之單位價格。

$C(t|m)$ ：施行第 m 種疏伐方法下之主伐成本。

第一個部分為疏伐之淨現值，第二個部分為主伐之淨現值，兩者相加即為以疏伐時點為基期下，輪伐期內之林分淨現值。

而利用淨現值最大來決定疏伐至最適主伐時期之數學模型，這部分之決策如式 (4-16)。

$$\begin{aligned}
 \text{Maximize } NPV(t) &= \pi_{\text{thinning}|m} + \pi_{\text{final}|m} \\
 &= \left[f(0|m)p(0) - C(0|m) \right] + \left[\frac{f(t|m)p(t) - C(t|m)}{e^{rt}} \right] \quad (4-16)
 \end{aligned}$$

t 為疏伐至最適主伐時期，t 時期加上疏伐決策執行時林分之林齡即為最適輪伐期，而在後續分析討論的部分，本研究會以最適輪伐期做為分析的依據。

二、疏伐帶淨現值假設

在林道下方行列疏伐之部分，其疏伐帶未來預計會進行造林，然而我們並無法確定該疏伐帶之造林未來淨收益為何，故本研究將該疏伐帶之淨現值假設為零。

三、方案設定

本研究之主題為探討不同疏伐方式下經濟效益及其對留存木之影響，而前者有兩個主要的面向，第一個面向是比較疏伐林地與未疏伐林地，第二個面向在於評估不同疏伐方法對經濟效益之影響，故本研究除了比較兩塊造林地因為疏伐所造成的差異，也想了解造林地在疏伐與未疏伐下在經濟收益上的不同。

然而花蓮林管處在本案中並沒有畫定不進行疏伐之對照組，對於兩個尚未疏伐柳杉造林地也沒有確切的全林分調查資料，因此本研究僅能以資料盡量還原尚未進行疏伐之造林地，假定該造林地未進行疏伐之情境，設法模擬。

本研究將林道上方 20.5 公頃與林道下方 30 公頃兩塊柳杉造林地分開討論，比較 20.5 公頃柳杉造林地在選擇不疏伐與選擇本案之下層疏伐下，不同的收益情形，同理，林道下方 30 公頃柳杉造林地的部分，比較選擇不進行疏伐與進行行列疏伐下兩者的收益情形，而不進行疏伐的部分將當作本研究之對照組。另外，為方便

於比較，本研究假設在本疏伐案結束後，設定時點主伐，並藉由比較主伐後之輪伐期內之淨現值來探討各方案之優劣。

故由前所述，本研究分成 A、B、C、D 四種情況，A 情況為假設 20.5 公頃柳杉造林地下層疏伐林地未進行疏伐，B 情況為假設 30 公頃柳杉造林地行列疏伐林地未進行疏伐，C 情況為 20.5 公頃柳杉造林地進行下層疏伐，D 情況為 30 公頃柳杉造林地進行行列疏伐林地，而其中 A、B 方案的差異在於林分於空間中不同的分布狀況和主伐時一次取出材積量的多寡，而這些都會影響到主伐時的成本結構，一次取出材積量多，則平均固定成本下降。

另外，由於林分生長模式之模擬往往只適用於一個範圍之內，在範圍以外的預測產生極大之誤差，因此本研究之經濟評估只評估柳杉林齡在 100 年內之淨收益。

四、疏伐費用計算

本研究將疏伐成本分為疏伐管理費用與疏伐工程發包費用，疏伐工程費用為工程之得標價，而疏伐管理費用則是林業經營管理單位在工程前後，疏伐木調查、監工、檢尺、驗收與基地查驗使用公務員與其他雇工所支出之機會成本。

根據花蓮林管處作業課所提供標價資料，下層疏伐柳杉造林地總工程費用為 846,680 元，行列疏伐柳杉造林地總工程費用為 2,788,613 元，但為了要將刈草、除蔓排除在疏伐作業費用之外，必須減去此工作項目之費用，因此下層疏伐總費用為 641,582 元，行列疏伐總費用為 2,418,613 元。

而管理成本的部分，由每林調查、監工、疏伐木檢尺、驗收與基地查驗四個主要的部分所組成，由於林管處提供之資料為兩疏伐地之混合資料，估計的時候必須加以分離，花蓮林管處所提供之資料如下：

(一) 每木調查雇工：共 130.5 工，經費 250,560 元

(二) 每木調查人員：經費約 240,000 元（約 200 人次，每人次約 1,200 元）

(三) 監工：80 工作日，經費約 40,000 元

(四) 檢尺：人次約 12 人，經費約 12,000 元

(五) 驗收及跡地檢查人員：人次約 10 人，經費約 10,000 元

其中每木調查雇工、每木調查人員與疏伐木數量有關，檢尺與搬出材積數量有關，驗收與基地檢查與疏伐面積有關，因此前三項由兩者疏伐木數量之比率分離，檢尺費用以兩者搬出數量比率分離，驗收及基地檢查費用以兩者面積之比率拆解，在監工費用方面，由於缺少兩者之疏伐時間，一般而言，在同樣疏伐度與搬出材積下，行列疏伐較為省時，因此兩者缺乏一樣的衡量基礎，本研究依照疏伐標價中疏伐整治、造材費、集材費、貯木整理費用之比率，將監工費用分離。分離以後，本研究推得下層疏伐柳杉造林地疏伐管理費用為 280,686 元，而行列疏伐柳杉造林地的疏伐管理費用為 271,874 元，詳見表 4-6。

表 4-6 推估疏伐管理費用

工 作 項 目	總管理費用 (元)	下層疏伐管理費用 (元)	行列疏伐管理費用 (元)
1 每木調查雇工	250,560	132,832	117,728
2 每木調查人員	240,000	127,234	112,766
3 監工	40,000	13,157	26,843
4 檢尺	12,000	3,404	8,596
5 驗收與基地檢查	10,000	4,059	5,941
合計	552,560	280,686	271,874

資料來源：本研究推估整理。

五、主伐費用計算假設

本研究參考行列疏伐標價計算方式。依照花蓮林區管理處所提供行列疏伐之林產物標價分成疏伐整治、造材費、集材費、貯木整理、測量助理工、工寮新設、機械集材、解說牌等，主伐費用計算假設如表 4-7，而計算單位價格如表 4-8。

表 4-7 主伐費用計算假設

主伐費用計算方式	
疏伐整治費用	= 平均單株林木截斷費用 × 林分株數
造材費	= 平均單位材積造材費用 × 材積
集材費	= 平均單位材積集材費用 × 材積
貯木整理	= 平均單位材積集材費用 × 材積
測量助理工	= 單位面積測量工助理工費用 × 林地面積
工寮新設	= 工寮新設費用 × 1
機械集材	= 平均單位材積集材費用 × 材積
解說牌	= 解說牌 × 1
運材與裝材	= 每公噸之運費與裝材費用 × 林產重量

資料來源：本研究整理

表 4-8 主伐費用工作項目之計算單位價格

項目	單位	單位價格 (元)
疏伐整治費用	平均單株林木截斷費用	35.6
造材費	平均單位材積造材費用	310.8
集材費	平均單位材積集材費用	1,243.3
貯木整理費	平均單位材積貯木整理費用	103.6
測量助理工	平均單位面積測量助理工費用	375.2
工寮新設	工寮新設	46,625.0
機械集材	平均單位材積機械集材費用	1,683.3
解說牌	解說牌設置費用	5,181.0
運材與裝材費用	每公噸運材與裝材費用	1,250.0

資料來源：本研究推估整理

另外因為本行列疏伐之標售地點在於林道兩旁，並非於山下，而若欲以一般之材積價格計算山下之木材價格，就必須在主伐的費用中加入運材與裝材費用，根據本研究訪問本案標得疏伐木之廠商，其表示雇請運材公司裝運以每公噸的價格為單位，該案之裝運費一公噸在 1,000 至 1,500 左右，而本研究取其平均數 1,250 做為該裝運費。

六、主伐管理費用假設

主伐費用計算假設如表 4-9，各項工作單位費用參考表 4-10。主伐管理費用同樣參考疏伐之單位平均管理費用，算出主伐時每木調查雇工、每木調查人員與檢尺的部分，主伐驗收與基地檢查成本則同疏伐之驗收與基地檢查成本，監工費用則是參照行列疏伐之監工成本，等比例放大成保留帶主伐之監工成本與未疏伐林地主伐監工成本，而下層疏伐的部分則是以未疏伐林地監工主伐成本依照林地大小等比例縮小。

表 4-9 主伐費用計算假設

主伐費用計算方式
疏伐整治費用 = 平均單株林木截斷費用 × 林分株數
造材費 = 平均單位材積造材費用 × 材積
集材費 = 平均單位材積集材費用 × 材積
貯木整理 = 平均單位材積集材費用 × 材積
測量助理工 = 單位面積測量工助理工費用 × 林地面積
工寮新設 = 工寮新設費用 × 1
機械集材 = 平均單位材積集材費用 × 材積
解說牌 = 解說牌 × 1
運材與裝材 = 每公噸之運費與裝材費用 × 林產重量

資料來源：本研究整理

表 4-10 管理成本項目之計算單位價格

項目	單位	單位價格 (元)
每木調查雇工費用	平均每株所需調查雇工費用	22.82
每木調查人員費用	平均每株所需調查人員費用	21.85
監工費用	平均但未主伐材積所需監工費用	13.22
檢尺費用	平均每株之造材所需檢尺費用	2.14
驗收與基地查驗	平均單位林地面積驗收與基地查驗費用	198.02

資料來源：本研究推估整理

七、木材價格假設

本研究參考行政院農委會林務局木材價格資訊網發現，近十年來花蓮林區管理處之柳杉價格不變，末徑大於 15 公分之中材單位材積價格為每立方公尺 3,960 元，末徑 7 至 15 公分之中材每單位材積為每立方公尺 3,240 元。本研究假設主伐木材徑級之分配與立木徑級分配一致，以林木以胸徑是否大於 16 公分分成兩規格，而起始價格設定，材積平均價格隨著兩規格的比例而變動，根據本研究之推估，本林地未疏伐林分中，胸徑小於 16 公分的材積約佔 6.39%，胸徑大於 16 公分的材積為 93.61%，以此標準計算，起始之單位材積價格為每立方公尺 3,914 元。因此同樣以兩林木徑級之比例估算材積價格，下層疏伐林分胸徑小於 16 公分的林木材積約佔 2.86%，胸徑大於 16 公分的林木材積為 97.14%，所以起始之單位材積價格為每立方公尺 3,939 元。而行列疏伐林分，胸徑小於 16 公分的林木材積約佔 5.66%，胸徑大於 16 公分的林木材積為 94.34%，因此起始之單位材積價格為每立方公尺 3,919 元。另外，本研究假設該價格實質價格不變，所以其名目價格會隨著通貨膨脹率而升高，而本研究皆以名目價格做計算。此外為模擬木材價格對收益與最適輪伐期之影響，分別以單位材積價格提高 10%、20% 進行比較。

八、折現率假設

本研究由 1999 年至 2008 年的年平均實質存款利率 0.7% 做為實質之折現率。其中以 1999 年至 2008 年之平均年存款利率 2.53% 做為名目利率，而通貨膨脹率以 1999 年至 2008 年消費者物價指數年增率 1.08% 計算，將名目利率與通貨膨脹率帶入式 (4-17) 得到實質利率為 0.7%，詳見表 4-11。

$$1+r = \frac{(1+i)}{(1+f)} \quad (4-17)$$

i 為名目利率

f 為通貨膨脹率

r 為實質利率

表 4-11 1999 年至 2008 年我國存款利率與消費者物價指數

年	存款利率 (%)	消費者物價指數	年增率 (%)
1999	5.12	94.90	0.18
2000	5.06	96.09	1.25
2001	3.78	96.08	-0.01
2002	2.14	95.89	-0.20
2003	1.16	95.62	-0.28
2004	1.09	97.17	1.61
2005	1.36	99.41	2.31
2006	1.64	100.00	0.60
2007	1.96	101.80	1.80
2008	1.97	105.39	3.53
平均	2.53		1.08

資料來源：行政院主計處，2009。

註：以 2006 年之消費者物價指數做為基期。

另外模擬折現率對於淨收益與最適輪伐期影響的部分，由於折現率在 0.7% 下，在本研究限定之林齡內並沒有極大淨收益，所以本研究嘗試將折現率調整為 2%、3%、5%，比較各折現率的淨收益與淨收益極大最適輪伐期。

九、主伐取出材積比率與材積利用率

主伐取出之材積比率參考本案行列疏伐之情形，根據花蓮林區管理處所提供之資料，本案行列疏伐取出材積比率為 87.36%。而材積利用率則參考陳重銘(2002)之設定，以 70% 作為標準。

十、外部性之假設

一般而言，森林會產生正的外部性，而疏伐砍去部分林木以減少林分擁擠的現象，可能會產生部分正的外部性與部分負的外部性，為求減化，本研究假設疏伐以後正負外部性之相互抵消，疏伐前後外部性的總合為零。



第五章 實證結果與分析

本研究根據第三章所推估之林分資料以及第四章的假設前提與模式設定，推估出林分材積與徑級之生長，再進行經濟性評估，對疏伐之淨收益、伐採成本、單一輪伐期之林分淨收益等做分析，評估未疏伐方案、下層疏伐方案與行列疏伐方案三者，評斷花蓮林區管理處應該對本柳杉造林地採行何種經營管理方式，最後，本研究假設折現率由 0.7% 變動至 2%、3%、5% 以及木材價格增加 10%、20% 對淨收益與最適輪伐期之影響。

本章共分為四節，第一節為林分生長之推估，第二節為主伐標售材積推估，第三節為採行下層疏伐與行列疏伐林分之經濟效益分析，第四節為敏感度分析。

第一節 林分生長之推估

一、林分材積生長推估

由本研究調整之生長模式，可推得未疏伐林分、下層疏伐林分、行列疏伐林分每公頃林木材積生長概況，林分於 38 年生進行一次疏伐，如圖 5-1。

各方案疏伐之強度不一，本案之行列疏伐疏伐材積最多、留存的材積最少，下層疏伐次之，而疏伐完後之林分材積會依照模式所設定而成長。行列疏伐每公頃的林地蓄積最少，下層疏伐次之，而未疏伐林分每公頃的林地蓄積最多。根據該生長模式所推估之結果，疏伐後之留存林分材積並不會超過未疏伐林分材積，這部分如過去文獻所述，然而因為生長模式的限制，使得疏伐林分無法完全展現出林分材積生長促進的效果，該模式僅能隨著林齡將材積等比例放大，而疏伐完後材積之差異會進一步將不同疏伐作業下每公頃的林地蓄積差異拉大。

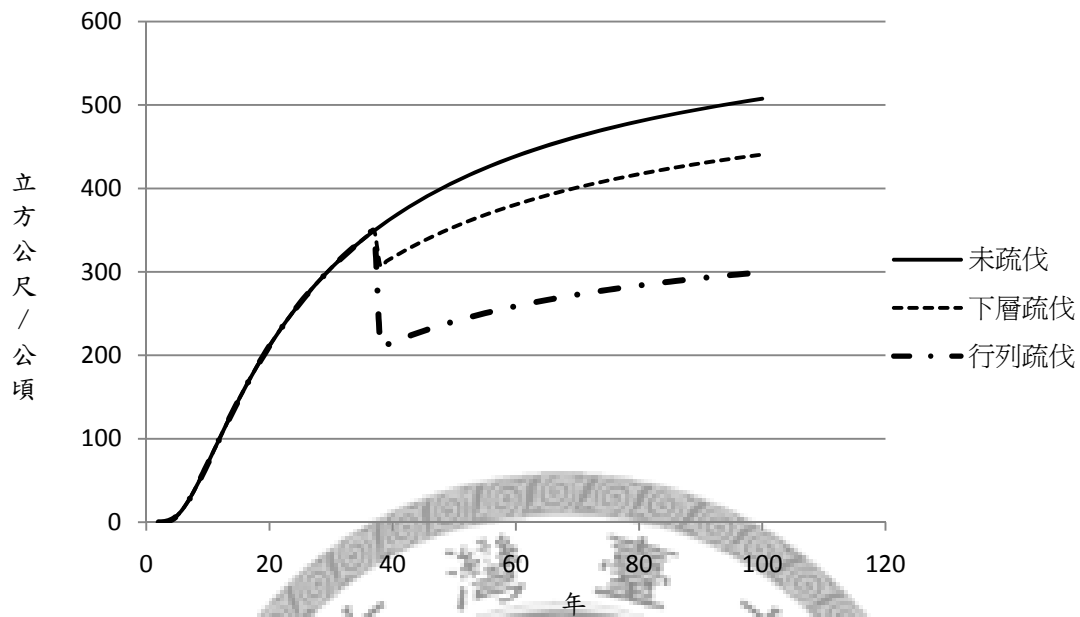


圖 5-1 推估各方案未來每公頃材積生長
資料來源：本研究整理。

然而在單木層級上，該模型卻能表現出單株之留存林木截面積的改進，本研究將估測出之每公頃胸高斷面積除以每公頃平均株數，能得到平均每株柳杉之胸高斷面積，我們可以由附表 A1、A2、A3 之平均每株斷面積觀察到，而下層疏伐明顯的使林分平均每株林木之斷面積更大，其次為行列疏伐，最後是不疏伐林分，而這部分符合楊榮啟、陳昭明與林文亮（1976）認為疏伐為分配生長潛力至目標林木方法的說法，平均每株斷面積越高代表林木平均較粗，而在市場上較粗的林木可能賣到較好的價格，這表示一旦進行疏伐，留存林分平均每株的立木價格就會隨之改變，林分內取出的木材平均價格會因為樹徑的增加而增加。

二、樹徑生長之推估

本研究以截面積之生長推估平方平均胸高直徑的成長，根據本研究推估結果，由於該胸高直徑推測平均胸高直徑有高估之現象，唯差異不大，未疏伐林分胸高直徑高估 3.94%、下層疏伐林分中胸高直徑高估約 3.56%，行列疏伐林分胸高直徑高估 3.48%，所以用此做為胸高直徑成長的推測。

本研究以韋伯分配估計徑級分配的生長變化，由於缺乏進一步林分的資料，因此假設林分生長時徑級分配之變異不變，而平均胸徑會隨林齡之增長所改變。其中未疏伐林分與行列疏伐林分徑級分配使用第三章推估結果，下層疏伐的部分則是將已估計之下層疏伐後留存木使用韋伯分配進行配適，得到 $a=23.4808$ 、 $b=4.1989$ ，再對平均徑級之移動做模擬。本研究推測出未疏伐林分之徑級分配移動如圖 5-2、下層疏伐林分之徑級分配如圖 5-3、行列疏伐徑級分配移動如圖 5-4。

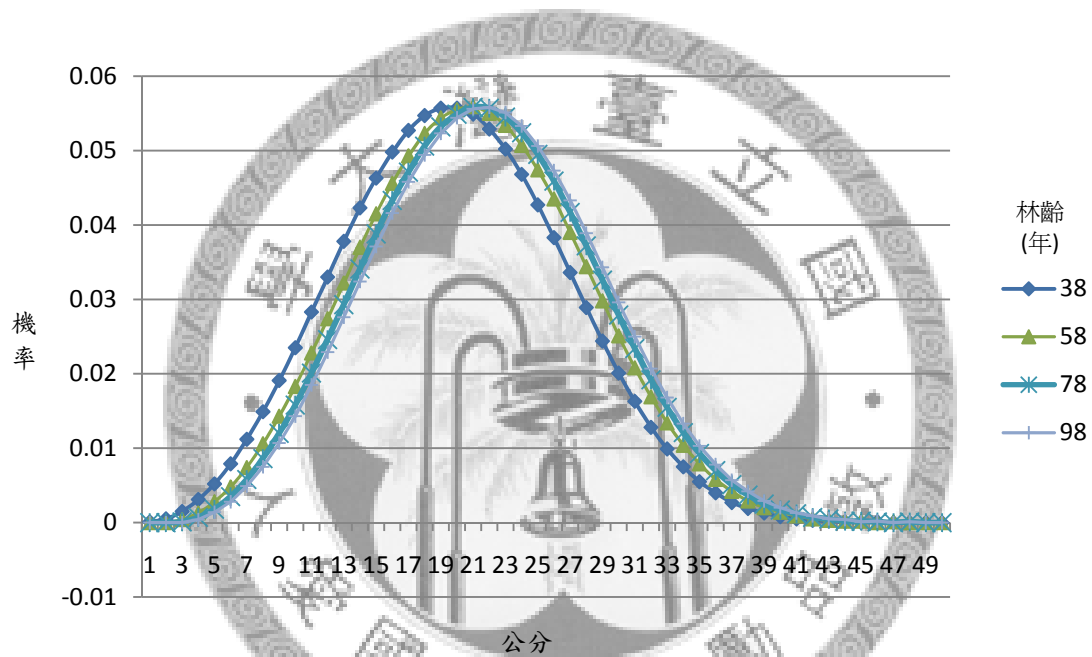


圖 5-2 不同林齡下未疏伐林分胸徑之機率密度函數

資料來源：本研究整理。

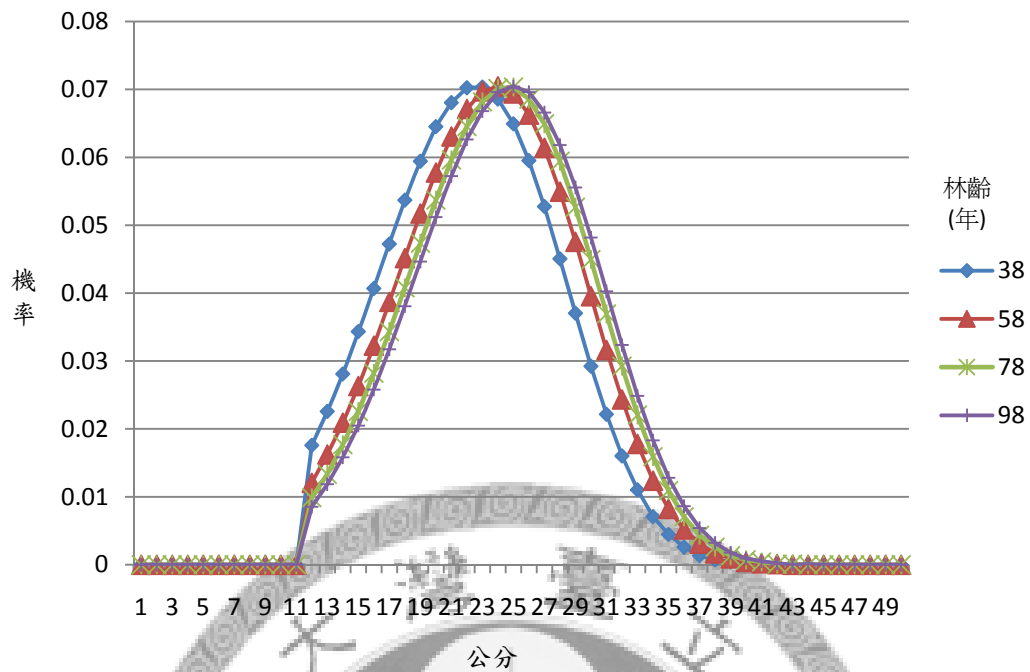


圖 5-3 不同林齡下下層疏伐林分胸徑之機率密度函數

資料來源：本研究整理。

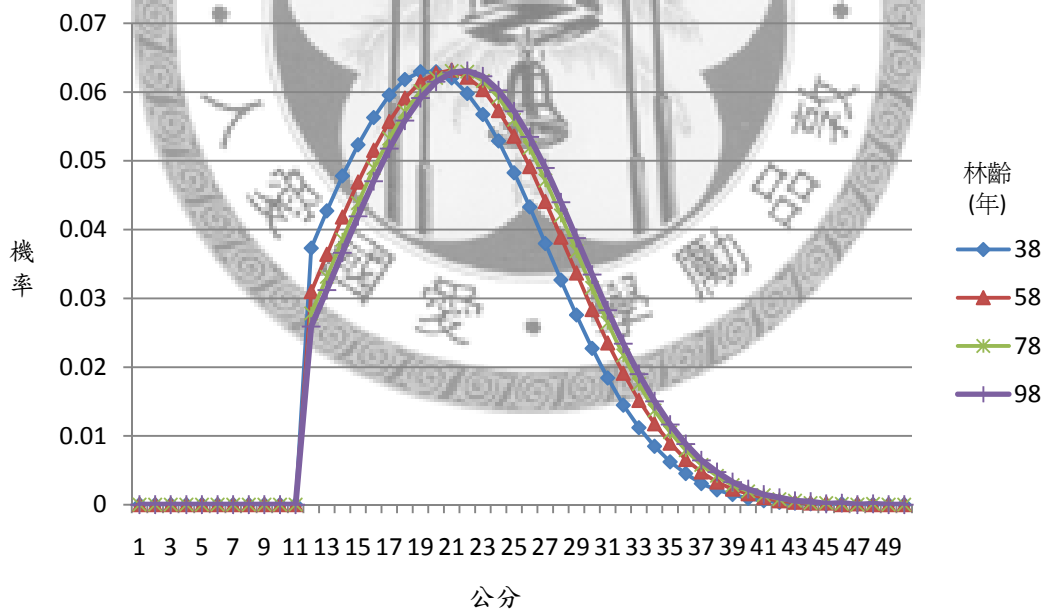


圖 5-4 不同林齡下行列疏伐林分胸徑之機率密度函數

資料來源：本研究整理。

第二節 主伐標售材積之推估

由第一節所推估之材積，考慮取出材積比率 87.36%與材積利用率 70%，可以推估出各年進行主伐取出林地之可利用材積數量如圖 5-5，詳細參考附表 B1、B2、B3、B4。

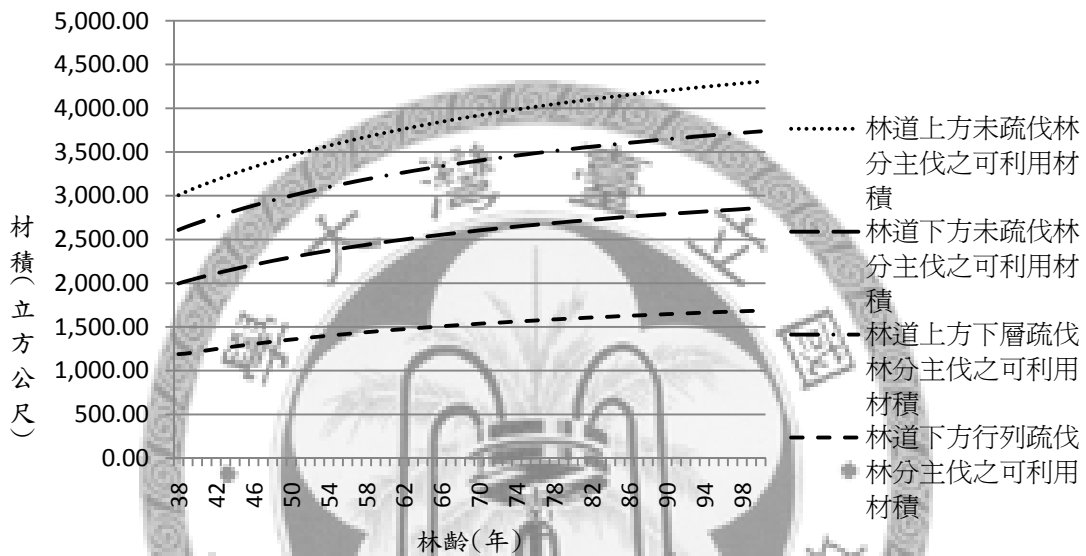


圖 5-5 推估各方案之主伐可利用材積

資料來源：本研究整理。

第三節 採行下層疏伐與行列疏伐林分之經濟效益分析

一、疏伐之淨收益分析

以花蓮林區管理處所提供疏伐作業費用、疏伐木標售收益與本研究所推估之管理費用，觀察疏伐作業與疏伐木標售是否能產生淨收益，來判斷該疏伐之兩疏伐方式是否屬於經濟性疏伐。

表 5-1 表示只考慮疏伐本身的成本收益。下層疏伐的部分，疏伐費用為 641,582 元，管理成本為 280,686 元，推估出來的疏伐收益為 466,048 元，淨收益為-456,218 元。若不考慮管理成本，淨收益為-175,532 元。而行列疏伐部分，疏伐費用為 2,418,613 元，疏伐管理成本為 271,874 元，推估出的疏伐收益為-1,211,752 元，淨

收益為-1,478,735 元。若不考慮管理成本，行列疏伐的淨收益為-1,206,861 元。兩個疏伐作業之淨收益皆為負值，因此單就疏伐而言本案並非為經濟性疏伐，也就是說花蓮林區管理處本案之疏伐並不能以疏伐收益填補疏伐費用與管理成本，疏伐之執行有賴政府對於疏伐預算之編列。

表 5-1 疏伐之成本收益分析

單位：元

項目	下層疏伐 (C)	行列疏伐 (D)
疏伐收益	466,048	1,211,752
疏伐費用	641,580	2,418,613
疏伐管理成本	280,686	271,874
合計	-456,218	-1,478,735

資料來源：本研究推估整理。

其中由表 5-1 能觀察到行列疏伐之收益為 1,211,752 元，而疏伐費用為 2,418,613 元，疏伐收益僅為疏伐費用的 50.10%，此比例過於懸殊造成行列疏伐作業本身不符經濟效益。造成該現象主要的因素來自於疏伐木標售之收益不多，本研究推測低收益的原因是由近來景氣低迷所導致，市場對柳杉木材需求減少，並使得廠商對於疏伐木標售意願不高，進而影響疏伐木的標售價格。

二、伐採成本之分析

本研究設定主伐成本包括主伐作業費用與主伐管理成本，疏伐成本包括疏伐作業費用與疏伐管理成本，將主伐成本與疏伐成本加總得到林地該輪伐期內伐採之成本。圖 5-5 表示各項方案在林齡 38 年至主伐時，輪伐期內之未折現伐採成本，其中 A 與 C 方案因為實際伐採面積較大、林地內取出利用之材積較多，所以其伐採成本較 B 與 D 方案伐採成本要高，而方案未疏伐與疏伐之間的差異在於取出材積的多寡，未疏伐林分取出的材積多於已疏伐林分，所以未疏伐林分的伐採

成本高於已疏伐林分。另外因為 A 與 B 沒有進行疏伐，在模型設定上兩方案之成長的材積量較多，以致於已疏伐林分與未疏伐林分主伐時取出的材積差異隨林齡增加，造成圖 5-6 中 A、B 方案與 C、D 方案兩者之間成本的差距隨林齡增加而拉大。

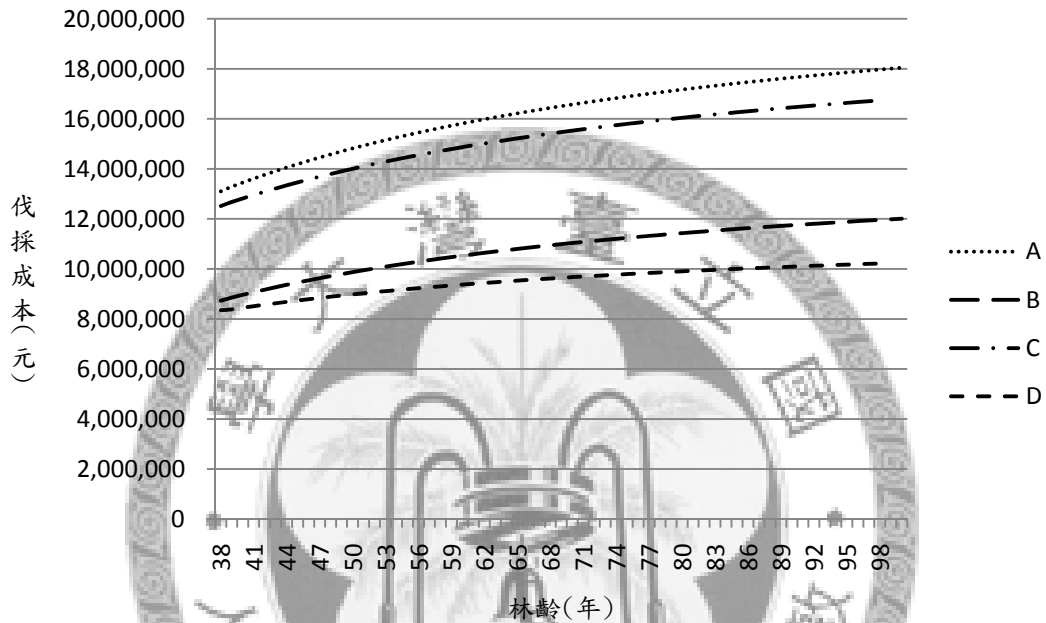


圖 5-6 推估各方案林分之伐採成本 (未折現)
資料來源：本研究整理。

然而森林經營管理必須要加入折現的因素，由圖 5-7 顯示，在對疏伐成本折現後，各方案之伐採成本隨著主伐時間的後退而減少，而已疏伐林分之伐採成本線會較未疏伐林分之伐採成本線緩，此原因為已疏伐林分起始之疏伐成本已經是現值，林分伐採成本中僅有主伐的部分會進行折現，而未疏伐林分並沒有疏伐成本存在，未疏伐林分之伐採成本全部皆進行折現，所以造成此現象。

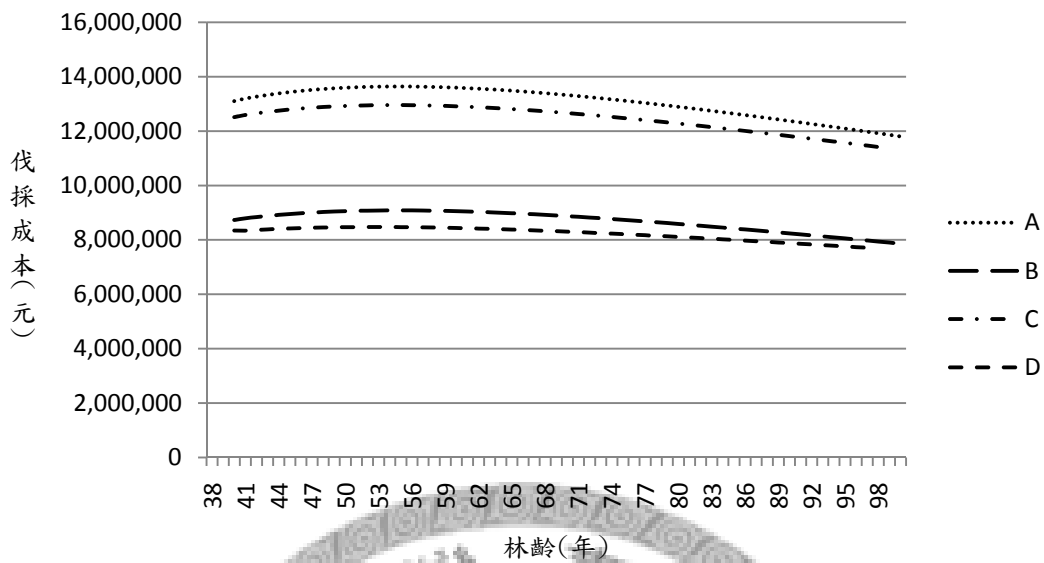


圖 5-7 推估各方案林分之伐採成本（已折現）

資料來源：本研究整理。

三、平均每立方公尺材積之伐採成本

另外，本研究將林分未折現之伐採成本除以各方案所採取之總材積量，求得每立方公尺材積未折現之伐採成本，如圖 5-8。每立方材積之伐採成本隨著林齡的增加而減少，推測這是因為每立方公尺材積之平均固定成本隨伐採材積的增加而減少所造成。圖 5-8 可以看出折現前本案之 D 方案每立方公尺材積成本最高，依次為 C、B、A 方案之每立方公尺材積成本，C 與 D 方案每立方公尺材積成本較高的原因在於其主伐前進行過一次疏伐，在主伐或疏伐都必須支出一些固定成本，而該伐採之材積量又較 A、B 方案來的低，因此其平均固定成本較高，A、B 方案則因為未進行疏伐，一次主伐伐採材積量大，所以使平均固定成本較低。

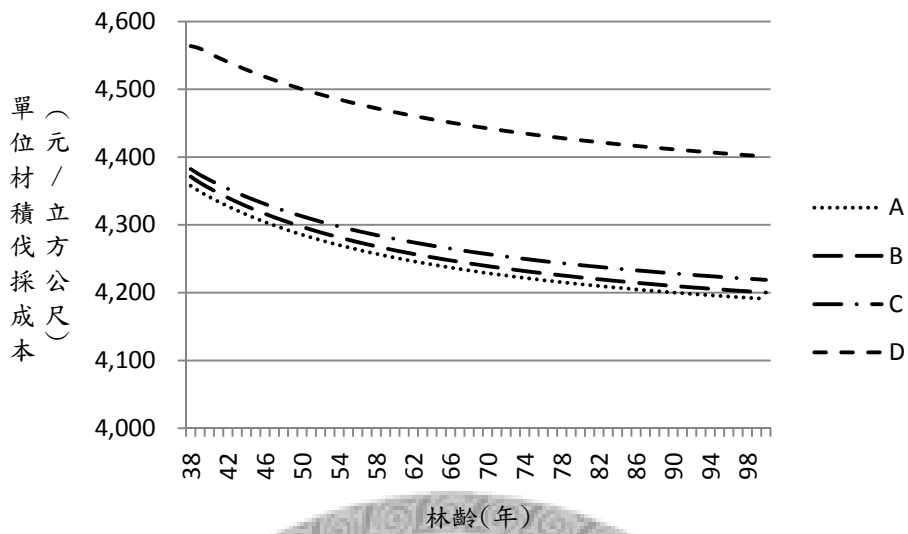


圖 5-8 推估各方案每立方公尺材積之伐採成本（未折現）

資料來源：本研究整理。

而圖 5-9 表示折現後之每立方公尺材積之伐採成本，其中 A、C 方案以及 B、D 方案每立方公尺材積之伐採成本線之差距隨林齡增加而增加，該原因如同以疏伐林分之伐採成本線較未疏伐林分伐採成本線緩的情形，因為疏伐成本為初始時點之支出，不用進行折現，所以使 B、D 方案之每立方公尺材積之伐採成本線較緩。

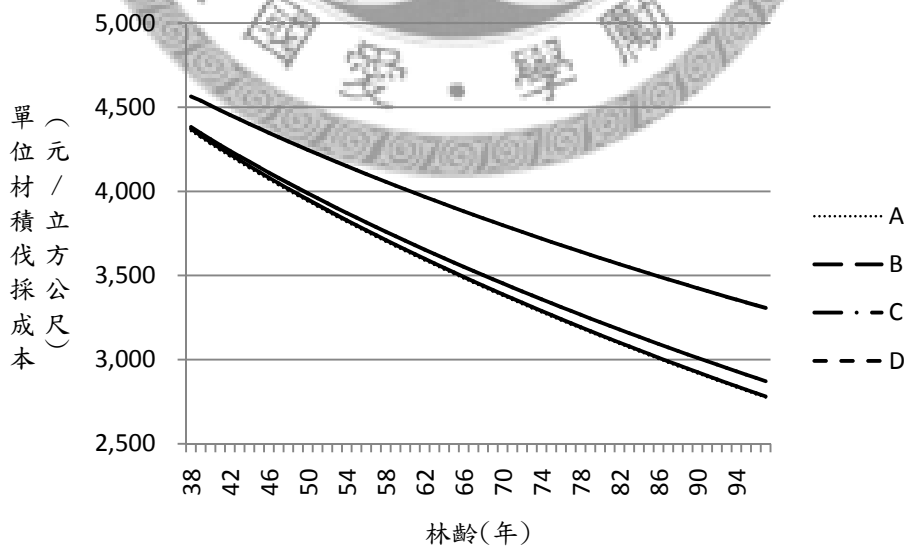


圖 5-9 推估各方案每立方公尺材積之伐採成本（已折現）

資料來源：本研究整理。

三、單一輪伐期之林分淨收益分析

在木材收穫率為 87.36%、材積利用率 70%、實質折現率 0.7%、通貨膨脹率 1.08%、木材實質價格隨通貨膨脹率增加與其他相關之假設下，由模擬之計算結果發現，林道上方與下方未疏伐林分待至林分 47 年生以後進行一次主伐會有正的淨現值。而林道上方於 38 年生時進行下層疏伐之林分則需待至 51 年生以後進行一次主伐才有正的淨現值。而林道下方於 38 年生時進行行列疏伐之林分，則必須於林齡 74 年以後才有正的淨現值。另外，由圖 5-10 可看出，在柳杉林齡為 100 年以內，各方案之淨收益沒有極大值產生，因此也無百年以內的最適輪伐期。

同樣位於林道上方柳杉造林地，A 方案之淨收益比相對之 C 方案之淨收益來得大，並且圖 5-10 中顯示 C 方案淨收益之斜率較 A 方案淨收益之斜率來得緩，這表示以本研究假設與取得資料的推估下，不疏伐方案優於下層疏伐方案。而位於林道下方之柳杉造林地，B 方案之淨收益比 D 方案總淨收益更大，表示不疏伐方案優於上層疏伐方案。不過 A、B 方案相比，在林齡為 45 年生之前，雖然 B 方案之淨現值高於 A 方案，但該淨現值為負，在林齡為 45 年生以後，A 方案之淨現值高於 B 方案，由於 A、B 方案皆為不對林地施行疏伐，所以造成 A、B 方案淨收益差異來自於林地環境的因素。

另外，由圖 5-10 可以看出 A 方案與 C 方案兩線之距離較 B 方案與 D 方案兩線之距離短，而這表示在本研究假設有限的林齡內，施行下層疏伐方案比施行行列疏伐方案來的佳。

綜合以上，以本疏伐案來說，不疏伐方案優於本案執行之下層疏伐與行列疏伐，而對柳杉林分施行下層疏伐較施行行列疏伐佳，林道上方 20.5 公頃之柳杉造林地的淨收益高於林道下方 30 公頃柳杉造林地之淨收益。

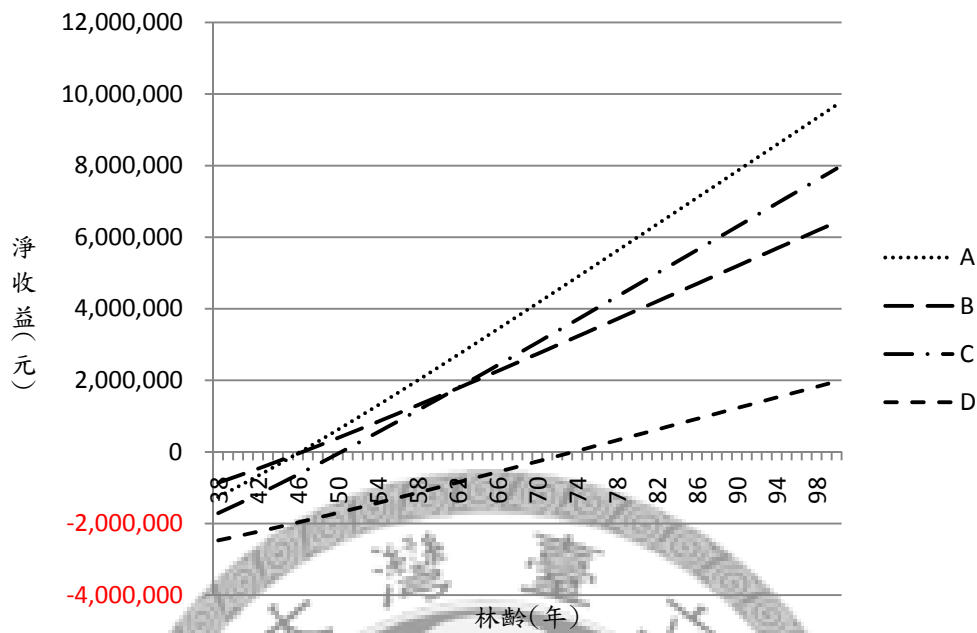


圖 5-10 推估各方案林分之淨收益（已折現）

資料來源：本研究整理。

四、單一輪伐期之平均每立方公尺材積淨收益分析

然對森林經營管理機關而言，將淨收益換算成平均每立方公尺材積之淨收益對於其經營管理較有參考價值。在木材收穫率為 87.36%、材積利用率 70%、實質折現率 0.7%、通貨膨脹率 1.08%、木材實質價格隨通貨膨脹率增加與其他相關之設定下，平均每立方公尺材積淨收益隨著主伐林齡增加而增加，A、B 方案之平均每立方公尺材積淨收益在林分為 47 年生時主伐開始產生淨收益，C 方案之平均每立方公尺材積淨收益在林分為 51 年生時主伐開始產生淨收益，而 D 方案則遲至 74 年生時主伐才開始產生正的淨收益，詳見圖 5-11。

A 方案平均每立方公尺之淨收益較 C 方案之平均每立方公尺淨收益來得高，B 方案平均每立方公尺之淨收益較 D 方案之平均每立方公尺淨收益來得高，這表示未疏伐林分平均每立方公尺之淨收益高於已疏伐林分平均每立方公尺之淨收益，本案之疏伐會降低平均每立方公尺的淨收益。由於根據本研究之設定，主伐時疏伐林分每立方公尺材積平均價格高於未疏伐林分之每立方公尺材積平均價格，因

此造成疏伐減少平均每立方材積淨收益的原因來自於疏伐與主伐之成本，以及本疏伐案疏伐木標售收益。

另外從圖 5-11 可觀察到林道下方行列疏伐平均每立方公尺材積淨收益遠低於林道上方下層方案之平均每立方公尺材積淨收益，這部分的差異主要來自於平均每立方公尺材積主伐成本以及本疏伐案之淨收益，尤其是後者，花蓮林區管理處所提供之資料中，林道下方之行列疏伐之虧損遠大於林道上方下層疏伐之虧損。

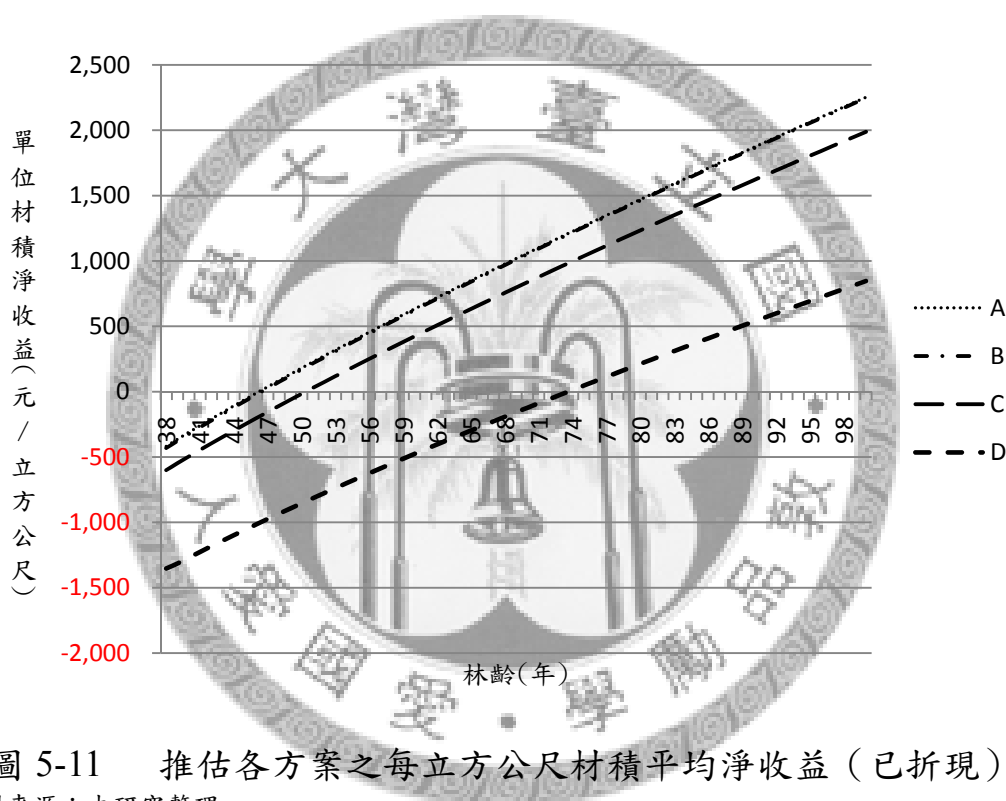


圖 5-11 推估各方案之每立方公尺材積平均淨收益（已折現）

資料來源：本研究整理。

第四節 敏感度分析

一、不同折現率對最適輪伐期與淨收益之影響

本研究進一步想了解對於本兩個柳杉林分而言，折現率對於期最適輪伐期與淨收益之影響，因此設定折現率為 2%、3%、5%，並計算在該折現率假設下，淨現值最大之最適輪伐期與輪伐期內經營之最大淨現值為何。

圖 5-12 表示在 A 方案下其他變數不變、折現率由 0.7% 增加至 2% 的狀況，A 方案在 t 時點主伐之淨現值減少，並且出現淨現值最大輪伐期，該輪伐期為柳杉在 124 年生時，最大淨現值為 4,622,398 元，然在本研究之設定超過 100 年的林分情況不加以考慮，因此折現率在 2% 時，林齡在 100 年內並沒有出現淨現值最大輪伐期；如果折現率升至 3%，淨現值最大輪伐期為柳杉林分在 91 年生之時，最大淨收益為 2,371,134 元；而折現率為 5% 時，淨現值最大輪伐期為 71 年生，最大淨收益為 1,049,147 元。

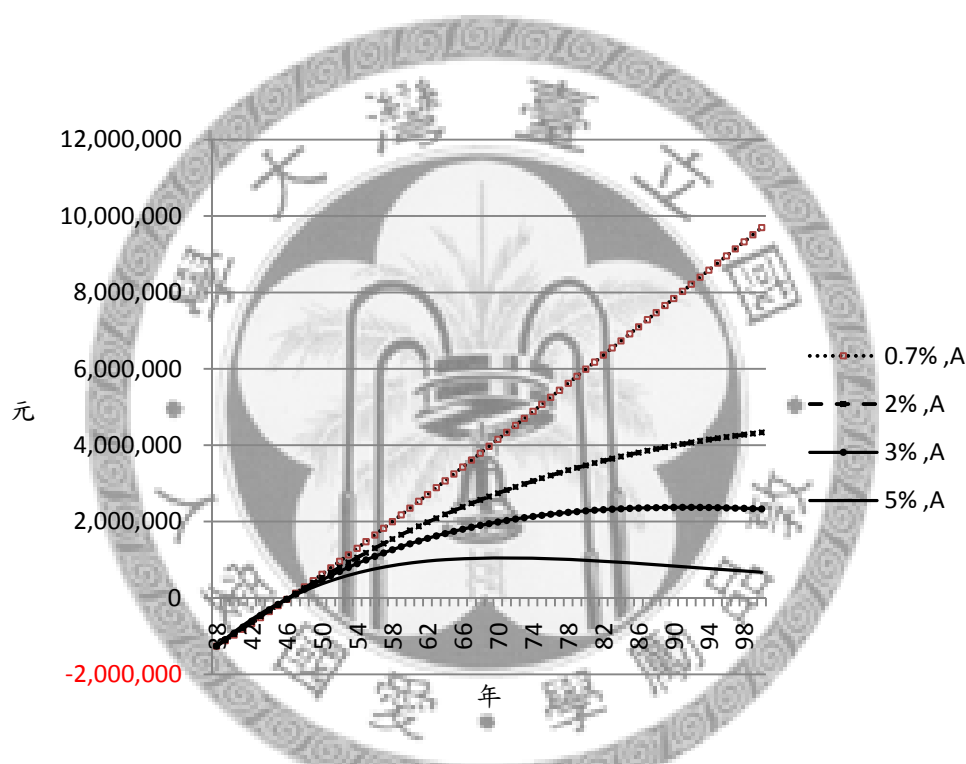


圖 5-12 不同折現率下林道上方未疏伐方案之淨收益
資料來源：本研究整理。

由圖 5-13 可知，當 B 方案之折現率為 2%，在林齡 100 年內並無淨現值最大輪伐期，折現率為 3% 時，淨現值最大輪伐期為 91 年，最大淨收益為 1,570,015 元，而折現率增加為 5% 時，淨現值最大輪伐期為 71 年，最大淨收益為 691,657 元。

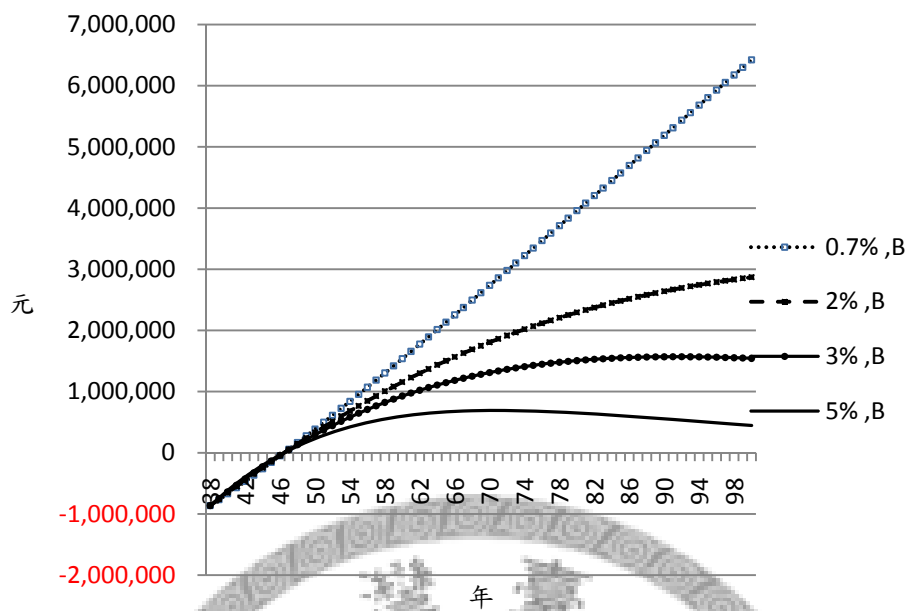


圖 5-13 不同折現率下林道下方未疏伐方案之淨收益
資料來源：本研究整理。

再者，林道上方已進行下層疏伐之柳杉林分淨收益 C 方案如圖 5-14，折現率為 2% 時，並無林齡 100 年以內之淨現值最大輪伐期，淨收益隨著主伐林齡增加而增加，然當折現率提高為 3%，淨現值最大輪伐期為 92 年，最大淨收益為 1,570,015 元；當折現率為 5% 時，淨現值最大輪伐期為 71 年，最大淨收益為 431,635 元。

最後，林道下方已進行行列疏伐之 D 方案之淨收益如圖 5-15，折現率為 2% 時，在林齡 100 年內並無淨現值最大輪伐期，淨收益隨著主伐林齡增加而增加，但當折現率提高至 3%，淨現值最大輪伐期為 97 年，但淨收益不為正值，為 -648,772 元，而此時森林經營管理機關是否該進行主伐？由前述內容可以得知本案行列疏伐淨收益為 -1,478,735 元，主伐之收益可以彌補行列疏伐時造成的部分損失，因此林業經營管理機關仍應進行主伐。而當折現率為 5% 時，淨現值最大輪伐期為 77 年，最大淨收益為 -1,155,363 元。

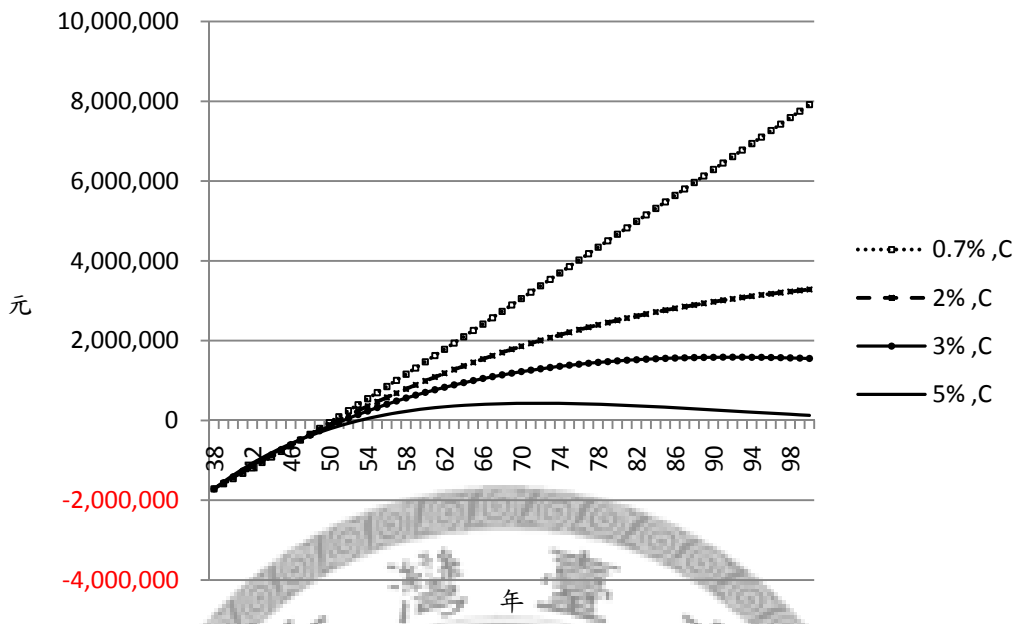


圖 5-14 不同折現率下林道上方下層疏伐方案之淨收益
資料來源：本研究整理。

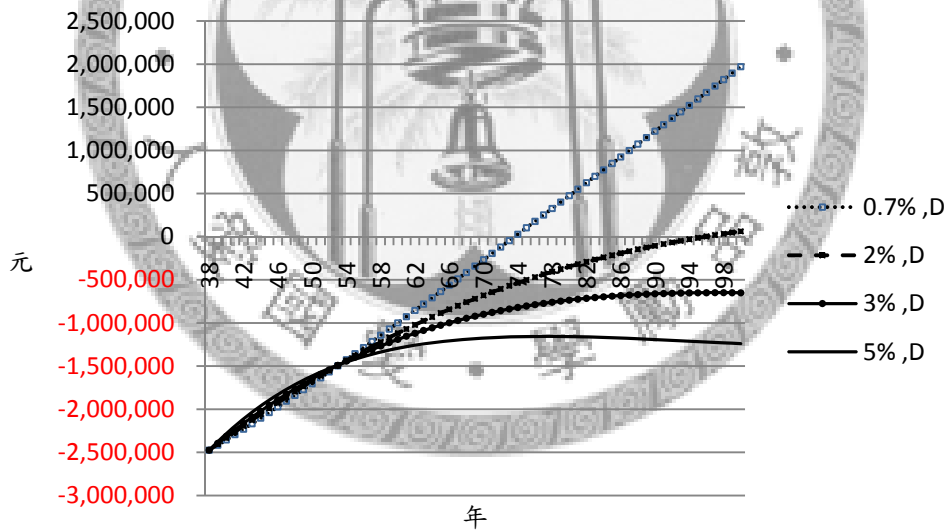


圖 5-15 不同折現率下林道下方行列疏伐方案之淨收益
資料來源：本研究整理。

二、木材價格與折現率對最適輪伐期與淨收益之影響

本研究除了對實質之折現率假設為 0.7%、2%、3%、5%外，也假設木材之起始價格上漲原價格之 10%與 20%，根據計算結果整理成表 5-2 與表 5-3。

表 5-2 不同價格利率下淨收益最大之輪伐期

利率		0.7%	2%	3%	5%
A	原價	--	124	91	71
	增 10%	--	117	84	63
	增 20%	--	110	77	57
B	原價	--	125	91	71
	增 10%	--	117	84	63
	增 20%	--	111	78	57
C	原價	--	125	92	71
	增 10%	--	118	85	64
	增 20%	--	111	78	58
D	原價	--	130	97	77
	增 10%	--	123	90	69
	增 20%	--	116	83	63

資料來源：本研究推估整理

表 5-3 不同價格與利率下之最大淨收益

利率		0.7%	2%	3%	5%
A	原價	--	4,622,398	2,372,134	1,049,147
	增 10%	--	5,442,064	3,006,922	1,544,017
	增 20%	--	6,306,250	3,716,194	2,168,644
B	原價	--	3,065,242	1,570,015	691,657
	增 10%	--	3,608,887	1,990,340	1,017,800
	增 20%	--	4,182,120	2,459,943	1,429,967
C	原價	--	3,553,102	1,585,706	431,635
	增 10%	--	4,264,203	2,132,165	850,077
	增 20%	--	5,014,280	2,743,278	1,378,543
D	原價	--	237,463	-648,772	-1,155,363
	增 10%	--	543,268	-424,852	-1,001,560
	增 20%	--	866,391	-173,493	-805,124

資料來源：本研究推估整理

當折現率為 3%、5% 時，最適輪伐期在林分 100 年生以內。當折現率為 3% 時，在 A、B 方案的部分，木材價格上漲 10% 使原本的淨現值最大輪伐期從林分 91 年生縮短為 84 年生，讓原本 A 方案的最大淨收益 2,372,134 元成長為 3,006,922 元，B 方案最大淨收益則是由 1,570,015 元成為 1,990,340 元，而 C 方案之淨現值最大輪伐期 92 年生縮減至 85 年生，使淨收益從 1,585,706 元成長為 2,132,165 元，D 方案的部分，伐採決策的最大淨收益為負值，由 -648,772 元成長為 -424,852 元。價格增加 20% 所產生的影響與價格增加 10% 影響略同，詳細情形參考表 5-2 與表 5-3，不在贅述。由此可以觀察出隨著木材價格的增加，淨現值最大輪伐期縮短，而最大淨收益增加。



第六章 結論與建議

疏伐的目的為增加不同規格之木材資源存量、培育大徑木、促進林地碳吸存以及林相改良等，疏伐會對未來主伐的收益與成本產生影響，因此一個完整的疏伐決策評估應考慮到林分未來的淨收益。到目前為止，我國在疏伐方面所作的相關研究仍然很少，更缺乏不同疏伐方式在經濟效益評估上之相關研究。因此，若政府要形成更積極的疏伐政策，則應該在疏伐方面作更多的研究。由於疏伐方面研究不多，若根據現有的文獻尚不足以作為形成新疏伐政策之依據。

本研究先利用徑級分配模式求算行列疏伐疏伐木之徑級分配，在假設行列疏伐疏伐帶之林分分配與未疏伐前整個林地之林分分配一致下，以疏伐帶之徑級分配推估疏伐前之林分分配，並估計疏伐後留存林分之徑級分配。由胸徑樹高模式推估出疏伐前後平均樹高的變化，再以生長模式模擬不同疏伐作業下留存木材積之生長，最後利用花蓮林管處所提供之施作疏伐各項費用與疏伐管理成本等資料以及本研究所推估之主伐材積，估算疏伐成本、疏伐收益、主伐成本及主伐收益，最後進行不同疏伐作業方式的經濟效益分析與敏感度分析。

本研究主要之貢獻在於兩點，第一點過去的相關疏伐研究並沒有考慮疏伐之管理成本，此將低估疏伐成本，高估疏伐之淨收益，本研究將疏伐與主伐之管理成本納入疏伐之經濟效益分析模型，以較正確的反應疏伐成本。第二點，在缺乏實際疏伐面積與林分樣區資料下，以行列疏伐疏伐木調查資料推估林分資料，並以該林分資料利用林分生長模式模擬未來林分之材積蓄積。

第一節 實證結論

本研究分析施行下層疏伐與行列疏伐作業對其留存木之影響，探討疏伐收益與疏伐成本，分析施行下層疏伐與行列疏伐作業之經濟效益，並提出政策建議。

一、施行下層疏伐與行列疏伐作業對其留存木之影響

根據本研究推估結果，假設疏伐前兩塊林地可疏伐之林分密度皆為每公頃 1,400 株，由徑級大於 8 公分之柳杉開始計算，林道上方柳杉造林地之柳杉株數約為 19,420 株、林道下方柳杉造林地柳杉株數約為 12,898 株，胸高斷面積為 47.97 平方公尺，每公頃平均材積為 354.48 立方公尺，而平均胸徑為 19.9 公分，平均樹高為 15.16 公尺。在下層疏伐後，上方林地之密度每公頃為 953 株，平均胸高斷面積為 39.69 平方公尺，每公頃平均材積為 307.63 立方公尺，而平均胸徑增為 22.38 公分，平均樹高也增為 17.54 公尺。行列疏伐造林地則是每公頃約剩 840 株，胸高斷面積為 28.02 平方公尺。一般而言，行列疏伐不會改變平均樹高與平均胸徑，但本案之行列疏伐尚包括去除留存木中之劣勢木，也就是在留存林分中進行弱度下層疏伐。在沒有該疏伐之實際疏伐資料下，本研究假設該疏伐將徑級小於 10 公分的林木伐除，則平均胸徑將增為 21.1 公分，平均樹高增為 16.47 公尺。

下層疏伐將樹高較低的林木伐除，使林分的平均胸徑與平均樹高提高。理論上而言，行列疏伐伐除固定空間配置之林木，平均胸徑與平均樹高並不會有所提高，但本案之行列疏伐在保留帶進行極弱度之下層疏伐，所以微幅的提高平均胸徑與平均樹高。

二、疏伐收益與疏伐成本

本研究藉由比較疏伐收益與疏伐成本，了解該疏伐是否屬於經濟性疏伐，疏伐作業與疏伐木標售是否能產生淨益。若以本研究之花蓮林區管理處兩塊柳杉造林地為例，下層疏伐的部分，疏伐費用為 641,582 元，管理成本為 280,686 元，推估出來的疏伐收益為 466,048 元，淨收益為-456,218 元。若不考慮管理成本，淨收益為-175,532 元。而行列疏伐部分，疏伐費用為 2,418,613 元，疏伐管理成本為 271,874 元，推估出的疏伐收益為-1,211,752 元，淨收益為-1,478,735 元。若不考慮管理成本，行列疏伐的淨收益為-1,206,861 元。因此本疏伐案之兩疏伐皆非經濟性

疏伐，疏伐木標售之收益低於疏伐成本。而本案之行列疏伐之淨收益會低於下層疏伐淨收益的主要原因在於林地原始條件的不同，嚴格來說本案採行的兩種疏伐方式並無法直接進行比較。

三、施行下層疏伐與行列疏伐作業之經濟效益之分析

在木材收穫率為 87.36%、材積利用率 70%、實質折現率 0.7%、通貨膨脹率 1.08%、木材實質價格隨通貨膨脹率增加與其他相關之假設下，根據本研究之推估，各方案之淨現值隨著林齡的增加而增加，而在林齡 100 年內，並無出現最大之淨現值與淨現值最大輪伐期。由本研究之推論，本案之柳杉造林地若未疏伐其淨收益會較疏伐林分之淨收益來得高，而下層疏伐林分之淨收益高於行列疏伐淨收益。林道上方與下方未疏伐林分待至林分 47 年生以後進行一次主伐會有正的淨現值。林道上方於 38 年生時進行下層疏伐之林分則需待至 51 年生以後進行一次主伐才有正的淨現值。而林道下方於 38 年生時進行行列疏伐之林分，則必須於林齡 74 年以後才有正的淨現值。

以單一輪伐期每平均每立方公尺淨收益而言，未疏伐林分平均每立方公尺之淨收益高於已疏伐林分平均每立方公尺之淨收益，而林道下方行列疏伐平均每立方公尺淨收益遠低於林道上方下層方案之位材積平均淨收益，這表示本案之未疏伐方案較下層疏伐方案佳，其次才是行列疏伐方案。

四、政策建議

本研究總結評估分析之結果建議花蓮林區管理處，若以當前經濟環境而言，本疏伐案並不適合進行，尤其是高強度的行列疏伐。如果疏伐的目的是培育肥大直徑，也應採取弱度的下層疏伐。

疏伐對林地之成本收益的影響與經濟環境息息相關，疏伐效益若不能高於未進行疏伐的效益，則疏伐作業就不應被執行，除非有其它非市場效益存在。林區

管理處的林區森林經營計畫為每十年更新一次，但計畫內容往往無法與大環境配合，本研究建議林區經營管理機關，應修改林區森林經營計畫，使其更具彈性，並將經濟效益評估列為疏伐決策的考量因素之一。

另外，本研究建議花蓮林區管理處未來進行疏伐時，應先量測實際的疏伐面積，在缺乏實際疏伐面積下之經濟評估將造成估測上的誤差。

最後，本研究建議花蓮林區管理處在做疏伐前應先做疏伐地樣區劃定與測量，並蒐集樣區之林分資料。林分資料之累積將有助於往後花蓮林區管理處針對疏伐經濟效益之評估，以及未來疏伐計畫之擬定。

第二節 未來研究方向

本研究假設疏伐之外部性為零，純粹以經濟收益的角度分析不同方式之疏伐作業對林分淨收益造成的影響，未來希望能將立木在林地中所產生的效益包含在總效益內，如碳吸存效益與水源涵養效益等。

另外，若未來該林地之經營計畫確定，例如疏伐帶重新補植柳杉、牛樟或烏心石，並且在固定時間後將留存木再行疏伐，就能以林地期望值進行多輪伐期的經濟評估。

參考文獻

- 王子定，1964。「美國之疏伐」，『台灣林業季刊』。1 卷 1 期，63-77。
- 王子定，1966。『應用育林學』。臺北：國立編譯館。
- 王子定、劉嘉昌，1964。「疏伐之實行與價值」，『台灣林業季刊』。1 卷 1 期，2-21。
- 台灣省林務局，1997。『台灣林產處分調查用立木材積表』。台北：台灣省林務局。
- 行政院主計處，2009。『Taiwan Statistical Data Book 2009』。臺北：行政院經濟建設委員會綜合計劃處。
- 行政院國家永續發展委員會，2004。「行政院國家永續發展委員會國土與交通工作分組第九次分組會議」取自 http://tpweb.cpami.gov.tw/all%20files/p_2/40.Sustainable%20conference10.pdf
- 行政院農業委員會林務局羅東林區管理處，2006。人工林疏伐實務手冊。羅東：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處。
- 行政院農業委員會林務局，1997。台灣林產處分調查用立木材積表。台灣省林務局。
- 李久先、陳朝圳，1985。「大雪山地區紅檜人工林之疏伐—疏伐對直徑分布之影響」，『中華林學季刊』。18 卷 1 期，20-28。
- 李久先、顏添明，1994。「人工林林分生長之探討—疏伐對林分結構及生長之影響」，『國立中興大學實驗林研究報告』。16 卷 1 期，103-113。
- 李久先、顏添明，1995。「紅檜人工林單木生長之研究(二)-Chapman-Richards 生長模式在疏伐林分之應用」，『國立中興大學實驗林研究報告』。17 卷 1 期，125-136。
- 李久先、顏添明、鍾昇興、江菊美、羅義嵩，1997。「紅檜人工林林分密度管理之研究-疏伐林分之基礎分析」，『國立中興大學實驗林研究彙刊』。19 卷 1 期，101-112。
- 李久先、顏添明，1998a。「七種生長模式模擬紅檜人工林疏伐林分單木胸高斷面積生長適用性之比較」，『中華林學季刊』。31 卷 1 期，13-24。
- 李久先、顏添明，1998b。「應用 RICHARDS 生長模式分析疏伐林分之單木生長」，『中華林學季刊』。31 卷 2 期，165-176。
- 李久先、顏添明，2000。「紅檜人工林生產潛能之評估--地位指數曲線式之研究」，『林業研究季刊』。22 卷 2 期，51-60。
- 李久先，2006。「疏伐示範區監測計畫」，行政院農業委員會林務局東勢林區管理處委託研究計畫。95-03-05-03。國立中興大學。

- 李宣德、馮豐隆，2001。「運用“細胞自動化”概念在森林生態系模」，『台灣林業』。27卷6期，22-26。
- 李國忠、陳毓華、魏名聰，2000。「台灣杉人工林最適林分經營之研究」，『國立台灣大學農學院實驗林研究報告』。14卷4期，245-258。
- 邱志明、林振榮、王松永，2005。「從優良材質生產觀念的台灣育林施業技術及發展」，『中華林學季刊』。38卷1期，127-138。
- 紀儀芝，2004。「大安溪事業區林木經營區針葉樹人工林疏伐計畫之評估」。碩士論文，國立中興大學森林學系。
- 高強，1980。「台灣柳杉最佳疏伐與輪伐期之經濟分析」。行政院國家科學委員會委託研究計畫。NSC71-0409-B0061-01。國立成功大學工業管理科學系。
- 高強，1982。「台灣柳杉最佳疏伐與輪伐期之經濟分析」，『中華林學季刊』。13卷4期，25-50。
- 翁世豪，2004。「觀霧地區柳杉人工林不同強度疏伐後微環境及植群之比較」。碩士論文，國立臺灣大學森林學系。
- 游偉青，2006。「疏伐對惠蓀林場杉木人工林土壤呼吸之影響」。碩士論文，國立中興大學森林學系。
- 莊舜堯、陳岳民、王明光、郭幸榮、黃正良、金恒鏞，2005。「森林疏伐對土壤氮素礦化及硝化作用之影響」，『臺灣林業科學』。20卷2期，167-177。
- 陳重銘，2002。「柳杉人工林疏伐之成本效益分析」。碩士論文，國立臺灣大學森林學系。
- 陳明杰，2007。「疏伐作業對人工林林地水土保持影響」，『林業研究專訊』。14卷2期，10-13。
- 郭幸榮、關秉宗，2001。「整合型林分疏伐研究計畫之建構」，刊載於「人工林疏伐的社會經濟效益及公益功能之整合評估」。行政院農委會林務局補助計畫成果報告。
- 郭寶章，1964。「德國之疏伐」，『台灣林業季刊』。1卷1期，22-38。
- 郭寶章，2002。「造林木實施疏伐之理論基礎」，『台灣林業季刊』。28卷1期，22-29。
- 張瑀芳，2006。「太平山區柳杉人工林下土壤的種類與疏伐處理對土壤養分之影響」。碩士論文，國立宜蘭大學自然資源學系。
- 楊榮啟、陳昭明、林文亮，1976。「柳杉人工林之經濟疏伐」，『台大實驗林研究報告』。118號，39-94。
- 楊秋震，1983。「應用動態規劃決定台灣柳杉人工林之最佳疏伐方案與輪伐期之研究」。碩士論文，國立臺灣大學森林學系。

- 楊文琪，1992。「管束模式理論應用於大雪山地區紅檜人工林疏伐作業之研究」。碩士論文，國立中興大學森林學系。
- 蔡鐘鎰，1977。「柳杉人工林幼齡林之疏伐」，『台灣林業』。4卷9期，16-22。
- 魯先智，1982。「柳杉疏伐林林分之生長模式」。碩士論文，國立臺灣大學森林學系。
- 顏添明，1993。「不同間伐強度對紅檜人工林生長之影響」。碩士論文，國立中興大學森林學系。
- 顏添明，2006。「人工林疏伐示範區監測計畫」，行政院農業委員會林務局委託研究計畫。國立中興大學。
- 羅紹麟、馮豐榮，1985。「林相變更之柳杉造林地的林分構造與收穫」，『國立中興大學農學院實驗林研究報告』。6號，73-91。
- 羅卓振南、鍾旭和、羅新興、周朝富，1987。「六龜地區紅檜人工林疏伐效果之研究」，『林業試驗所研究報告季刊』。2卷3期，187-198。
- 羅卓振南、鍾旭和、邱志明、周朝富、羅新興，1991。「疏伐與修枝對台灣杉人工林生長之影響」，『林業試驗所研究報告季刊』。6卷2期，155-168。
- 羅卓振南、鍾旭和、邱志明，1992。「六龜地區台灣杉人工林疏伐修枝效果之研究」，『林業試驗所研究報告季刊』。7卷4期，291-304。
- 羅卓振南、鍾旭和、邱志明、黃進睦，1997。「棲蘭山林區柳杉人工林行列疏伐營造複層林之研究」，『臺灣林業科學』。12卷4期，459-465。
- Angelo, C., 2005。「失衡的亞馬遜雨林」，『科學人』。2005年3月號。取自 <http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=639&CL=15H>。
- Bucht, S. 1981. "The influence of some different thinning pattern on the development of Scots pine stands". Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report No. 4. 276 p. cited by Mäkinen, H., A. Isomäki, and T. Hongisto, 2006. "Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland", *Forestry*. 79(1): 103-121.
- Clutter, J. L., 1963. "Compatible Growth and Yield Models for Loblolly Pine", *Forest Science*. 9(3): 354-371.
- Cao *et al.*, 2006. "Effects of Initial Stand States on Optimal Thinning Regime and Rotation of Picea Abies Stands CAO Tianjian", *Scandinavian Journal of Forest Research*. 21(5): 388-398.
- Eriksson, H. and K. Karlsson, 1997. "Effects of Different Thinning and Fertilization Regimes on the Development of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* (L.)) and Norway Spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.) Stands in Long-Term Silvicultural Trials in Sweden", Department of Forest Yield Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Report. 42 [in Swedish with English summary]. cited by Mäkinen, H. and Isomäki, A. 2004. "Thinning Intensity and Growth of Norway Spruce Stands in

- Finland", *Forestry*. 77(4): 349–364.
- Hoover, C., and S. Stout. 2007. "The Carbon Consequences of Thinning Techniques: Stand Structure Makes a Difference", *Journal of Forestry*. 105(5): 266-270.
- Kramer, H. and D. Jünemann, 1984. "The Influence of Heavy Individual and Schematic Thinning on the Growth of Young Spruce Stands", *Forstarchiv*. 56: 253–258. [in German with English summary]. cited by Mäkinen, H. and Isomäki, A. 2004. "Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland", *Forestry*. 77(4): 349–364.
- Mäkinen, H., J. Hynynen and A. Isomäki, 2005. " Intensive management of Scots pine stands in southern Finland: First empirical results and simulated further development ", *Forest Ecology and Management*. 215: 37-50.
- Mäkinen, H. and A. Isomäki, 2004. "Thinning Intensity and Growth of Norway Spruce Stands in Finland", *Forestry*. 77(4): 349–364.
- Mathey, A., E. Kremer, D. Tait, I. Vertinsky and J. Innes, 2007. "Forest planning using co-evolutionary cellular automata", *Forest Ecology and Management*. 239: 45-56.
- Mathey, A., E. Kremer, S. Dragicevic and J. Innes, 2008. "An object-oriented cellular automata model for forest planning problems", *Ecological Modelling*. 212: 359-371.
- Matthews, J., 1989. *Silvicultural Systems*. Oxford University Press.
- Palahí, M., T. Pukkala, E. Blasco, and A. Trasobares, 2007. "Comparison of beta, Johnson's SB, Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain) ", *European Journal of Forest Research*. 126 (4): 563-571.
- Schumacher, F.X., 1939. "A New Growth Curve and Its Application to Timber-Yield Studies", *Journal of Forestry*. 37: 819-820.
- Wingo D. R., 1989. "The left-truncated Weibull distribution: theory and computation," *Statistical Paper*. 30(1):39-48.
- U. N., 1992. Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992), U.N. Doc. A/CONF.151/26 (12 August 1992), Available from <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-3annex3.htm>.

附錄

附表 A1 推估未疏伐林分生長

林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)	林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)
38	354.48	47.09	0.0336	70	462.04	54.83	0.0392
39	360.27	47.51	0.0339	71	464.08	54.97	0.0393
40	365.37	47.90	0.0342	72	466.08	55.11	0.0394
41	370.28	48.27	0.0345	73	468.02	55.24	0.0395
42	375.02	48.62	0.0347	74	469.93	55.37	0.0396
43	379.60	48.97	0.0350	75	471.78	55.50	0.0396
44	384.02	49.29	0.0352	76	473.60	55.62	0.0397
45	388.29	49.61	0.0354	77	475.38	55.74	0.0398
46	392.43	49.91	0.0357	78	477.12	55.86	0.0399
47	396.42	50.20	0.0359	79	478.81	55.97	0.0400
48	400.29	50.49	0.0361	80	480.48	56.08	0.0401
49	404.04	50.76	0.0363	81	482.10	56.19	0.0401
50	407.67	51.02	0.0364	82	483.70	56.30	0.0402
51	411.19	51.27	0.0366	83	485.26	56.41	0.0403
52	414.60	51.52	0.0368	84	486.78	56.51	0.0404
53	417.91	51.75	0.0370	85	488.28	56.61	0.0404
54	421.12	51.98	0.0371	86	489.75	56.71	0.0405
55	424.24	52.20	0.0373	87	491.18	56.80	0.0406
56	427.26	52.42	0.0374	88	492.59	56.89	0.0406
57	430.21	52.63	0.0376	89	493.97	56.99	0.0407
58	433.07	52.83	0.0377	90	495.32	57.08	0.0408
59	435.85	53.02	0.0379	91	496.65	57.16	0.0408
60	438.56	53.21	0.0380	92	497.95	57.25	0.0409
61	441.19	53.40	0.0381	93	499.23	57.34	0.0410
62	443.75	53.57	0.0383	94	500.48	57.42	0.0410
63	446.25	53.75	0.0384	95	501.71	57.50	0.0411
64	448.68	53.92	0.0385	96	502.92	57.58	0.0411
65	451.05	54.08	0.0386	97	504.10	57.66	0.0412
66	453.36	54.24	0.0387	98	505.27	57.73	0.0412
67	455.61	54.39	0.0389	99	506.41	57.81	0.0413
68	457.81	54.54	0.0390	100	507.53	57.88	0.0413
69	459.95	54.69	0.0391				

資料來源：本研究推估整理。

附表 A2 推估下層疏伐留存林分生長

林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)	林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)
38	307.63	40.20	0.0422	70	400.97	46.81	0.0491
39	312.65	40.56	0.0426	71	402.74	46.93	0.0492
40	317.07	40.89	0.0429	72	404.47	47.05	0.0494
41	321.34	41.21	0.0432	73	406.16	47.16	0.0495
42	325.45	41.51	0.0436	74	407.81	47.27	0.0496
43	329.42	41.80	0.0439	75	409.42	47.38	0.0497
44	333.26	42.08	0.0442	76	411.00	47.48	0.0498
45	336.97	42.35	0.0444	77	412.54	47.58	0.0499
46	340.55	42.61	0.0447	78	414.05	47.68	0.0500
47	344.02	42.86	0.0450	79	415.52	47.78	0.0501
48	347.38	43.10	0.0452	80	416.97	47.88	0.0502
49	350.63	43.33	0.0455	81	418.38	47.97	0.0503
50	353.78	43.55	0.0457	82	419.76	48.06	0.0504
51	356.83	43.77	0.0459	83	421.12	48.15	0.0505
52	359.79	43.98	0.0461	84	422.44	48.24	0.0506
53	362.67	44.18	0.0464	85	423.74	48.32	0.0507
54	365.45	44.38	0.0466	86	425.01	48.41	0.0508
55	368.16	44.56	0.0468	87	426.26	48.49	0.0509
56	370.79	44.75	0.0470	88	427.48	48.57	0.0510
57	373.34	44.93	0.0471	89	428.68	48.65	0.0510
58	375.82	45.10	0.0473	90	429.85	48.72	0.0511
59	378.24	45.26	0.0475	91	431.00	48.80	0.0512
60	380.59	45.43	0.0477	92	432.13	48.87	0.0513
61	382.87	45.58	0.0478	93	433.24	48.95	0.0514
62	385.10	45.73	0.0480	94	434.33	49.02	0.0514
63	387.26	45.88	0.0481	95	435.39	49.09	0.0515
64	389.37	46.03	0.0483	96	436.44	49.15	0.0516
65	391.43	46.17	0.0484	97	437.47	49.22	0.0516
66	393.43	46.30	0.0486	98	438.48	49.29	0.0517
67	395.39	46.43	0.0487	99	439.47	49.35	0.0518
68	397.29	46.56	0.0489	100	440.44	49.41	0.0518
69	399.15	46.69	0.0490				

資料來源：本研究推估整理。

附表 A3 推估行列疏伐留存林分生長

林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)	林齡 (年)	材積 (立方公尺 /公頃)	截面積 (平方公尺 /公頃)	平均每株 斷面積 (平方公尺/ 株)
38	211.05	28.02	0.0375	70	272.74	32.41	0.0434
39	212.66	28.08	0.0376	71	273.94	32.49	0.0435
40	215.67	28.31	0.0379	72	275.12	32.57	0.0436
41	218.57	28.53	0.0382	73	276.27	32.65	0.0437
42	221.37	28.74	0.0385	74	277.39	32.72	0.0438
43	224.07	28.94	0.0387	75	278.49	32.80	0.0439
44	226.68	29.13	0.0390	76	279.56	32.87	0.0440
45	229.21	29.32	0.0392	77	280.61	32.94	0.0441
46	231.65	29.50	0.0395	78	281.64	33.01	0.0442
47	234.00	29.67	0.0397	79	282.64	33.08	0.0443
48	236.29	29.84	0.0399	80	283.62	33.15	0.0444
49	238.50	30.00	0.0402	81	284.58	33.21	0.0445
50	240.64	30.15	0.0404	82	285.52	33.27	0.0445
51	242.72	30.30	0.0406	83	286.44	33.34	0.0446
52	244.73	30.45	0.0408	84	287.34	33.40	0.0447
53	246.69	30.59	0.0409	85	288.23	33.46	0.0448
54	248.58	30.72	0.0411	86	289.09	33.51	0.0449
55	250.42	30.85	0.0413	87	289.94	33.57	0.0449
56	252.21	30.98	0.0415	88	290.77	33.62	0.0450
57	253.95	31.10	0.0416	89	291.59	33.68	0.0451
58	255.64	31.22	0.0418	90	292.39	33.73	0.0452
59	257.28	31.34	0.0419	91	293.17	33.78	0.0452
60	258.88	31.45	0.0421	92	293.94	33.84	0.0453
61	260.43	31.56	0.0422	93	294.69	33.89	0.0454
62	261.94	31.66	0.0424	94	295.43	33.93	0.0454
63	263.42	31.76	0.0425	95	296.16	33.98	0.0455
64	264.85	31.86	0.0427	96	296.87	34.03	0.0456
65	266.25	31.96	0.0428	97	297.57	34.08	0.0456
66	267.61	32.06	0.0429	98	298.25	34.12	0.0457
67	268.94	32.15	0.0430	99	298.93	34.16	0.0457
68	270.24	32.24	0.0432	100	299.59	34.21	0.0458
69	271.50	32.32	0.0433				

資料來源：本研究推估整理。

附表 B1 推估林道上方未疏伐林分主伐之可利用材積

林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)	林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)
38	354.48	70	462.04
39	360.27	71	464.08
40	365.37	72	466.08
41	370.28	73	468.02
42	375.02	74	469.93
43	379.60	75	471.78
44	384.02	76	473.60
45	388.29	77	475.38
46	392.43	78	477.12
47	396.42	79	478.81
48	400.29	80	480.48
49	404.04	81	482.10
50	407.67	82	483.70
51	411.19	83	485.26
52	414.60	84	486.78
53	417.91	85	488.28
54	421.12	86	489.75
55	424.24	87	491.18
56	427.26	88	492.59
57	430.21	89	493.97
58	433.07	90	495.32
59	435.85	91	496.65
60	438.56	92	497.95
61	441.19	93	499.23
62	443.75	94	500.48
63	446.25	95	501.71
64	448.68	96	502.92
65	451.05	97	504.10
66	453.36	98	505.27
67	455.61	99	506.41
68	457.81	100	507.53
69	459.95		

資料來源：本研究推估整理

附表 B2 推估林道下方未疏伐林分主伐之可利用材積

林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)	林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)
38	1,997.10	70	2,603.07
39	2,029.71	71	2,614.57
40	2,058.42	72	2,625.80
41	2,086.10	73	2,636.77
42	2,112.81	74	2,647.49
43	2,138.60	75	2,658.00
44	2,163.51	76	2,668.20
45	2,187.59	77	2,678.21
46	2,210.87	78	2,688.00
47	2,233.39	79	2,697.57
48	2,255.18	80	2,706.94
49	2,276.29	81	2,716.11
50	2,296.74	82	2,725.08
51	2,316.56	83	2,733.87
52	2,335.77	84	2,742.47
53	2,354.42	85	2,750.90
54	2,372.51	86	2,759.16
55	2,390.08	87	2,767.25
56	2,407.14	88	2,775.18
57	2,423.72	89	2,782.96
58	2,439.84	90	2,790.58
59	2,455.51	91	2,798.05
60	2,470.76	92	2,805.39
61	2,485.59	93	2,812.58
62	2,500.03	94	2,819.64
63	2,514.10	95	2,826.56
64	2,527.80	96	2,833.36
65	2,541.14	97	2,840.04
66	2,554.16	98	2,846.59
67	2,566.84	99	2,853.03
68	2,579.22	100	2,859.35
69	2,591.29		

資料來源：本研究推估整理

附表 B3 推估林道上方下層疏伐林分主伐之可利用材積

林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)	林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)
38	2,609.48	70	3,401.27
39	2,652.09	71	3,416.30
40	2,689.61	72	3,430.97
41	2,725.78	73	3,445.31
42	2,760.68	74	3,459.31
43	2,794.38	75	3,472.99
44	2,826.93	76	3,486.37
45	2,858.39	77	3,499.45
46	2,888.80	78	3,512.24
47	2,918.23	79	3,524.75
48	2,946.71	80	3,536.99
49	2,974.28	81	3,548.97
50	3,001.00	82	3,560.69
51	3,026.90	83	3,572.17
52	3,052.01	84	3,583.42
53	3,076.37	85	3,594.43
54	3,100.01	86	3,605.22
55	3,122.97	87	3,615.79
56	3,145.26	88	3,626.16
57	3,166.93	89	3,636.32
58	3,187.99	90	3,646.28
59	3,208.46	91	3,656.04
60	3,228.38	92	3,665.62
61	3,247.77	93	3,675.02
62	3,266.64	94	3,684.25
63	3,285.01	95	3,693.30
64	3,302.91	96	3,702.18
65	3,320.36	97	3,710.90
66	3,337.36	98	3,719.47
67	3,353.93	99	3,727.87
68	3,370.10	100	3,736.13
69	3,385.88		

資料來源：本研究推估整理

附表 B4 推估林道下方行列疏伐林分主伐之可利用材積

林齡 (年)	可利用材積 (m ³)	林齡 (年)	可利用材積 (立方公尺)
38	1,189.02	70	1,536.57
39	1,198.12	71	1,543.36
40	1,215.06	72	1,549.99
41	1,231.41	73	1,556.46
42	1,247.17	74	1,562.79
43	1,262.40	75	1,568.97
44	1,277.10	76	1,575.01
45	1,291.31	77	1,580.92
46	1,305.05	78	1,586.70
47	1,318.35	79	1,592.35
48	1,331.21	80	1,597.88
49	1,343.67	81	1,603.29
50	1,355.74	82	1,608.59
51	1,367.44	83	1,613.78
52	1,378.79	84	1,618.86
53	1,389.79	85	1,623.83
54	1,400.47	86	1,628.71
55	1,410.84	87	1,633.48
56	1,420.91	88	1,638.16
57	1,430.70	89	1,642.75
58	1,440.21	90	1,647.25
59	1,449.47	91	1,651.67
60	1,458.46	92	1,655.99
61	1,467.22	93	1,660.24
62	1,475.75	94	1,664.41
63	1,484.05	95	1,668.50
64	1,492.13	96	1,672.51
65	1,500.01	97	1,676.45
66	1,507.69	98	1,680.32
67	1,515.18	99	1,684.12
68	1,522.49	100	1,687.85
69	1,529.61		

資料來源：本研究推估整理