

出國報告（出國類別：其他）

參訪日本人工林和老齡林之經營 報告書

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：汪大雄 研究員

派赴國家：日本

出國期間：100年7月10日~7月17日

報告日期：100年9月14日

摘要

台灣人工林面積現約 42 萬公頃，人工林之經營與永續發展是台灣目前與未來森林經營之重點項目，林木是森林生態系中之主體，林木樹種之組成、林分之結構、林木之生長、蓄積和族群之改變等因素在時間和空間分佈上之推測和預測，無疑是人工林永續經營中經營者必須獲得最主要之資訊。然欲達成上述資訊之提供，則必須仰賴一套在生物和邏輯面都能充分信賴的生長收穫數學模式以模擬森林演變的過程。生長和收穫模式具備描述森林隨時間之動態反應（生長、孔隙更新）之功能，進而可以提供未來資源之狀況。生長和收穫模式因具有更新調查、預測未來收穫、探討經營策略和模擬育林措施影響之能力，故在森林經營上被廣泛地運用，因此，在不同經營策略下預測森林未來生長和收穫，成為森林永續經營體系中之重要一環。日本具有廣大面積之人工林並對人工林生長和動態變化模式之研究有長久和顯著成果值得觀摩與效法。

報告人利用執行國科會「疏伐作業對柳杉人工林空間結構、材積生長和林分景觀美質之影響」專題計畫之機會赴日本森林綜合研究所和日本千葉大學進行拜訪，除和日本森林綜合研究所從事人工林生長研究之研究人員進行模式建立與應用之研究交流外，並到日本相關人工林試驗地和老齡林現場觀摩林分經營之施業方法與經營策略。此外亦與日本千葉大學景觀系教授討論森林景觀電腦視覺化處理之相關研究。透過此次之考查與觀摩除廣增報告人之視野外，還為未來與日本雙方之合作研究和台灣人工林經營之經營甚有助益。

【關鍵詞】人工林經營 Plantation Management、老齡林 Old growth stand、日本森林綜合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute、日本千葉大學 Chiba University、森林景觀視覺化 Forest landscape visualization

目次

一、	計畫目的.....	4
二、	參訪過程.....	4
三、	研習心得.....	7
四、	建議事項.....	20
五、	照片.....	22

一、計畫目的

台灣人工林面積現約 42 萬公頃，人工林之經營與永續發展是台灣目前與未來森林經營之重點項目，林木是森林生態系中之主體，林木樹種之組成、林分之結構、林木之生長、蓄積和族群之改變等因素在時間和空間分佈上之推測和預測，無疑是人工林永續經營中經營者必須獲得最主要之資訊。然欲達成上述資訊之提供，則必須仰賴一套在生物和邏輯面都能充分信賴的生長收穫數學模式以模擬森林演變的過程。生長和收穫模式具備描述森林隨時間之動態反應（生長、孔隙更新）之功能，進而可以提供未來資源之狀況。生長和收穫模式因具有更新調查、預測未來收穫、探討經營策略和模擬育林措施影響之能力，故在森林經營上被廣泛地運用，因此，在不同經營策略下預測森林未來生長和收穫，成為森林永續經營體系中之重要一環。日本具有廣大面積之人工林並對人工林生長和動態變化模式之研究有長久和顯著成果值得觀摩與效法。

報告人執行國科會「疏伐作業對柳杉人工林空間結構、材積生長和林分景觀美質之影響」專題計畫，為對日本柳杉人工林疏伐經營對林分結構和生長之影響有所瞭解，因此赴日本參訪日本森林總合研究所，與日本學者討論相關之研究，並到日本相關人工林試驗地和老齡林現場觀摩林分經營之施業方法與經營策略。此外，亦參訪日本千葉大學與該校景觀系教授討論未來在森林景觀電腦視覺化處理合作研究之可行性。

二、參訪過程

(一) 行程：100 年 7 月 10 日（日）至 7 月 17 日（日）

日期	行程地點	工作內容
7月10日	台北—日本東京—筑波	BR 2198160 啓程，抵達
7月11日-	筑波	上午拜訪日本總合森林研究所 並舉行台灣人工林經營之專題 演講，下午參觀筑波植物園
7月12日	筑波—筑波山—筑波	實地考察筑波山複層林和 mosaic 林
7月13日	筑波—佐白山—筑波	實地考察佐白山之日本扁柏之 老林齡和大呷試驗地之柳杉人 工林
7月14日	筑波—富士宮—松本市	實地考察日本扁柏和柳杉混合 之人工林
7月15日	松本市—木曾—東京	實地考察木曾地區日本扁柏
7月16日	東京	拜訪千葉大學 Honjo 教授
7月17日	東京—台北	搭乘 BR2195 返國

(二) 行程簡介

7月10日由台北前往桃園機場，搭長榮航空飛往日本成田機場，再轉乘成田快捷至東京都再換成前往 Ibaraki 縣之筑波市(Tsukuba)。

7月11日早上前往日本森林總合研究所訪問。並發表專題演講敘述台灣過去在人工林生長方面之研究狀況，並就報告人以過去台灣杉生長模式之研究實例和正在進行之柳杉案例與在場之日本學者進行交流與討論。此次參訪不但增進報告人對森林總合研究所和其他學者從事森林生長模式研究之最新狀況之瞭解，亦讓日方對台灣在森林生長模式研究有初步之認識，並對雙方對此議題未來之可能合作奠下初步之基礎。下午在森林總合研究所人員陪同下參訪位於筑波市之筑波植

物園。

7月12日由日本森林總合研究所太田敬之陪同下，前往筑波附近筑波山之日本扁柏復層人工林試驗地，參觀老齡林之日本扁柏復層人工林之經營，並由日本關東森林管理局森林技術中心所長林田現地說明該試驗地設置之來由和日本扁柏人工林經營之方式。

7月13日早上由日本森林總合研究所太田敬之和菊地賢陪同下早上前往佐白山參觀日本扁柏老齡林之人工林，並由關東森林管理局人員池田先生和須崎先生講解該人工林之歷史、森林組成和結構等。下午則到位於茨城縣之國有林大沢試驗地參觀日本扁柏和柳杉之混合造林，晚上再回到筑波市結束茨城縣之參訪行動。

7月14日早上由日本森林總合研究所菊地賢陪同，開車前往位於山梨縣富士宮市渡邊定元教授之寓所，拜會渡邊定元教授，渡邊教授很熱誠接待並談及他過去到台灣之經驗和台灣之森林。下午渡邊教授帶我們去參觀位於富士宮市近郊之日本扁柏行列和中間疏伐試驗地，講解疏伐木選取之原則與方法。作者並就台灣人工林疏伐方式和疏伐木之選取與渡邊教授充分討論，並歡迎渡邊教授日後有機會受邀再來台協助建立適合台灣之疏伐選木技術。晚上夜宿長野縣之松本市。

7月15日前往日本森林總合研究所木曾試驗地，由木曾試驗地人員陪同拜會池田木材株式會社之製材場，由該廠社長池田聰壽接帶，並帶領參觀製材場，對於該廠規模之大技術之新與產品之多元化印象深刻。在道別製材場後驅車前往木曾(Kiso)森林管理署位在赤沢(Akasawa)自然修養林內之日本扁柏天然更新試驗地。看見日本扁柏天然更新林之生態環境與物種之組成、林齡和結構之差異，說明何以該地區能成為日本著名之自然修養林。最後驅車抵達東京結束人工林野外之考察活動，並準備第二議題之考察。

7月16日本預自行搭車前往日本千葉大學拜訪Honjo教授商討森林景觀電腦視覺化處理之事宜。但於7月15日晚接到Honjo教授來電因故無法去學校，建議在東京碰面。因此，在作者住宿之旅館，Honjo教授解說其過去使用景觀電腦視

覺化之應用實例和技術之演變。作者也就在六龜試驗林所作之森林景觀電腦視覺化處理研究之結果和 Honjo 教授充分討論，並談及未來之可能合作之議題和方式。會談後 Honjo 教授熱誠地帶領參觀東京大學校園和附屬之植物園。對於東京大學建築和校園內樹木之奇特流下深刻之印象。

7 月 17 日從東京往成田機場搭機回台，結束為期一星期之日本考察旅程。

三、心得

(一) 日本之森林資源

日本國土面積約 3780 萬公頃，森林面積為 2500 萬公頃，約占全國面積之 70%，依據世界糧農組織(FAO) 2010 之報告，日本在世界上是森林覆蓋第三高之國家。和全球平均 30%之森林覆蓋率相比，日本可稱為森林大國。日本之森林以天然林為最大宗，約占森林面積之 50%，其次是約占 40%之人工林。依所有權來分，70%之森林是為民有林(含 58%之私有林和 12%屬於都道府和縣之公有林)，國有林只占 30%，這和台灣國有林超過 70%之情行大為不同。

由於日本國土成現南北甚長之現象使得日本森林之分佈在水平方向之差異甚大。從南部沖繩地區之亞熱帶多雨林、本州南部地區之暖溫帶常綠林、本州中北部地區之冷溫帶落葉闊葉林到北海道東部地區之亞寒帶常綠針葉林。垂直方向在低山帶和丘陵帶是為常綠闊葉林，亞高山帶常綠針葉林，高山帶則為低木林。

日本戰後為了復興需要大量之木材，但因戰爭中森林受到破壞使得日本木材之供應不足，因此日本政府在昭和 20-30 年代推出擴大造林政策，將現有之低經濟價值之天然闊葉林改種植經濟價值高之針葉樹林如柳杉和扁柏等。擴大造林政策之實施增加人工林約 400 萬公頃。日本在過去 40 年森林蓄積量增加 2.3 倍主要是因為當年擴大造林政策實施之人工林已進入可以收穫之階段，但因進口材增加，國產材之減少，使得日本現有許多人工林未再經營陷入荒廢狀態。為了促使日本能有效進行人工林之經營，日本政府決定增加木材自給率至 25%。

(二)日本森林總合研究所

日本森林總合研究所是日本全國性進行森林有關議題之研究機構，總部現位於茨城縣(Ibaraki)之筑波市(Tsukuba)。該所最早成立於 1905，那時只是隸屬東京 Meguro 農商部下森林管理局之森林試驗站。後經過多次之組織調整和改名，於 1988 年改名成爲現今使用之名稱，日本森林總合研究所(Forestry and Forest products Research Institute)，其機構性質相當於國內之林業試驗所。日本森林總合研究所原爲隸屬農林省下之政府研究機構，但在 2001 年改爲獨立行政法人之研究機構，並開始第一個爲其五年之中程計畫(2001-2005)，接者執行第二個五年計畫(2006-2010)。另外，日本森林林木育種中心(Forest Tree Breeding Center)於 2007 年併入日本森林總合研究所，接者森林與農業發展中心(Center for Forestry and Agriculture development)亦於 2008 年併入日本森林總合研究所，並在日本森林總合研究所設立森林與農業發展中心(CFAD)繼續推動日本綠資源局(Japan Green Resources Agency)之業務，並建立水源林。由以上之演變看來，日本森林總合研究所作爲日本全國性森林，林業和森林產品之研究機構，會爲了產生永續森林社會繼續推行全面性之研究。

日本森林總合研究所之任務(Mission)是透過對森林、林業和森林產品(主要是木材產品)之研究來供獻推動含豐富和多樣性森林世界之永續發展。其願景(Vision)是成爲與未來日本發展息息相關之頂尖森林研究機構，其工作(Task)是要進行永久持續性科學和技術的發展，行政措施之推展，社會活動之活化和國際合作之推進。

日本森林總合研究所 2010 年度遇算爲 11,831 百萬日員，其人員除少數之主管人員(0.8%)外，以研究人員爲主(63.2%)，一般職員爲次(33.6%)和少許之技術專門職員(2.4%)。其研究單位共有 20 個系(department)，散佈在日本各地之 5 個研究中心，4 個森林林木育種中心和隸屬森林與農業發展中心之 6 個地方工作

站。

日本森林總合研究所之研究計畫，在其執行第二個五年計畫(2006-2010)內可分成三大類，分別為開發研究、基礎研究和林木育種研究。開發研究是為森林、林業和森林產品解決問題及展開新領域，其研究包含地球溫暖化對策之研究，藉由森林和木材利用創造安全舒適環境之研究，和因應社會情況演變之新林業和木材利用。基礎研究是瞭解森林生物機能和森林生態系動態之基礎研究，其研究包含瞭解森林生物資源之機能以開發新素材和瞭解森林生態系之結構與機能。林木育種研究則包含林木優良品系之開發、林木遺傳資源之收集與保存、優良品系和林木遺傳資源之分配、開發林木育種技術和森林生物研究之促進。

鑑於在 21 世紀人類將面臨石化能源之耗盡和氣候變遷之嚴重問題，作為解決此等問題之部分方法，森林和木材資源變得格外重要。日本森林總合研究所除了進行上述之各項研究外，還對 2050 年日本未來之森林提出遠景之規畫和搭配之研究方向。所提出 2050 年日本森林之遠景可描述如下：

由於對資源循環使用(cyclical use)之增加，使得那些在 20 世紀和 21 世紀初造林面積約 1000 萬公頃之針葉樹人工林，都是在良好之經營狀態下而呈現健康之狀況，其中某些針葉樹人工林會轉變成不同之林相如闊葉樹林或針闊葉樹混合林以增加生物多樣性。在森林分配時充分考量生物多樣性和水土保持，使得森林呈現優良、健康之景觀提供民眾身心休養之理想環境。

為因應 2050 年之日本森林，日本森林總合研究所規劃出未來之研究道路。總體來說，有四大方向分別為水資源保育與國土保護、和環境共存、森林資源之循環使用和森林多功能之促進。在每一大方向項下還列出 2050 年欲達成之目標(target)和使用之方法。以水資源保育與國土保護為例，2050 年達成之目標是建立可以評估對森林水文循環影響之系統和實現國土保護和良好水資源之穩定供給。使用方法按年度分別完成森林水文循環觀察系統、森林水文衝擊評估系統和依據水量移動對森林水文循環改變之預測系統。

(三) 筑波市之筑波植物園

筑波植物園位於茨城縣(Ibaraki)之筑波市(Tsukuba)，離東京約 70 公里。占地面積為 14 公頃，由日本國立科學博物管於 1976 年設置，並於 1983 對民眾開放，是現今唯一隸屬日本教育部之植物園。

筑波植物園有兩個主要目標，一是提供民眾休閒與教育之場地，另一是作為調查、研究和保育日本植物多樣性之機構。筑波植物園共收集來自亞洲和其它地區約 7000 種植物，其中有 3000 種植物是以種在園內不同展示區或以溫室形態供民眾觀賞。此外，園方還依照植物之開花期，安排某些高人氣之植物如鐵線蓮(clematis)、蘭花、報春花(primulas)等，在其開花期間予以特別之展覽。

筑波植物園全園區之規劃分成世界植群地區(World Vegetation Area) 和人類與生物多樣性地區(Human and Biodiversity)兩大部分。前者是展示分佈在日本各地可以看到之植物，此地區為因應植物之性質不一，分成常綠闊葉樹區、溫帶針葉樹區、暖溫帶落葉闊葉樹區、冷溫帶落葉闊葉樹區、高地性低木林區、山地性之砂礫地植物區、高地性之山地草原區、低地性之山地草原區、海岸性之岩礫地植物區、山地性之岩礫地植物區和水生植物區。人類與生物多樣性地區是顯示植物生態系提供人類之服務，並以服務內容之不同分成以提供建築、裝璜或食物或藥用或香料為主之各區。此外並設有日本瀕臨危險植物區和厥類區。

除了室外之栽植區外，筑波植物園還蓋了熱帶稀樹大草原型(savanna)、熱帶雨林、熱帶資源植物和水生植物四座溫室，收集日本以外地區之植物，並對民眾開放。可惜由於受到 311 日本東北部強烈地震之影響，筑波植物園之植物溫室遭到嚴重破壞，目前暫時停止對民眾開放，園方表示大約需費時一年整修後才會重新開放。

對於植物多樣性，筑波植物園採取參種策略，分別是(1) 透過教育去向民眾傳達植物多樣性之理念，因此舉辦各種教育活動，讓日本民眾明瞭植物多樣性保存之重要性。透過展示和研討會使民眾瞭解植物多樣性之意義、重要性、現今狀況和植物多樣性快速地減少；(2) 透過研究使用形態學(morphology)，染色體

(chromosomes)，分子系統發展(molecular phylogeny)和化學分類(chemosystematics)等方法去探討植物間之共生(symbiotic)，寄生(parasitic)和植物與厥類、昆蟲與動物間之關係和對植物多樣性之影響；(3) 透過植物名錄之登記和調查日本瀕臨威脅、危險和滅絕本土植物之行動，並配合專業知識與技術進行植物多樣性之保存。到 2008 年為止筑波植物園共登錄維管束植物 262 科 1928 屬 6235 種(含 60 亞種 456 變種和 135 品種)，並出版植物名錄供各界使用。遊園人數也從開幕最出 1983 年之 29673 人增為 2007 年之 68561 人，可見筑波植物園對日本民眾之吸引力。

(四) 日本人工林之集約經營

1. 筑波山複層林之經營

筑波山複層林試驗地，位於茨成縣西南部筑波山(887m)山腰之處，該試驗地約占地 35 公頃，海拔分佈從 350 至 500 公尺，平均坡度為 23 度，是由關東森林管理局東京分局森林技術中心於 1977 年為了迎合當地居民景觀作業之要求所設置之複層林試驗地。目地是要透過疏伐，進行不同形狀之上木保留和下木之不同栽植密度，以營造不同之複層林。該試驗地之上層木主要為日本扁柏但有些地方混雜柳杉，冷杉和 *Chamaecyparis Pisifera*)，下層木皆為栽植之日本扁柏(2-22 年生)，上層木 1901 年栽植，2003 年林齡 102 年生時，平均樹高 20-22m，平均胸高直徑 30-45cm，共建造 8 種不同類型之試驗地，分述如下：

(1) 點狀疏伐區，即單株疏伐，分散留存，造成 2 段之複層林

上層木進行點狀留存，是為複層林最基本形態，每公頃上層木留存株數，分 200、300、400 及 500 株之 4 種類型。依據留存株數之不同導致林內之光度之差異，連帶影響下層林木之生長。林下栽植苗木日本扁柏栽植 18 年生時，平均樹高分別為 7.46、6.62、4.80、3.30m，亦即上層木留存株數愈多，下層林木樹高生長即愈差，主要為下層光環境不同所造成。

(2) 列狀留存型，即行列疏伐，造成 2 段之複層林

上層木採列狀式留存，設定 3 種類型，每公頃留存 100、200、300 株，下層木栽植後 18 年生時之樹高為 8.49、8.95、6.98m。行列疏伐複層林營造時，行列方向大致為南北向，上層木留存 100、200 株/ha 之帶狀留存者，下層木之生長兩者間大致沒有差異，但 300 株/ha 因光度不足，下層木之樹高生長明顯較差。

(3) 群狀留存即群狀疏伐，造成 2 段之複層林型

以留存木（上層木）樹高約 20m 為直徑，採圓形方式進行群狀留存，群狀間距離依景觀和機械作業而定，下層木之光環境與皆伐大致相同，因此生長狀況和正常皆伐更新相同。

(4) 水平帶狀和縱向（順坡）帶狀之行列疏伐，造成 2 段之複層林型

上層木留存帶寬 25m，採用南北方向之等高線，進行疏伐，並於 1982-1984 年進行下層木之栽植。下層木之光環境與皆伐大致相同，因此生長狀況和正常皆伐更新相同。

(5) 魚骨型疏伐方式造成多段之複層林型

上層木採取魚背骨和小骨之方式分數次進行砍伐與造林以形成多段之複層林相，所謂「骨」是表示帶狀或行列狀。目前該區已經過 1990 年和 2000 年兩次之伐採與造林，形成 101 年生、13 年生和 3 年生之 3 段複層林。最終是要成為 4 段式之複層林。

(6) 受光調整區

由於在點狀疏伐區保留 500 株之林分內之光線柔弱，影響下層林木之生長，因此在此等區內設置受光調整區。將原本保留之 500 株上木 10 年後砍伐一半只保留 250 株，並在林下栽植 2500 株/ha 之下木。經過 11 年，經過受光伐之下木之生長量遠較未經受光伐者為大。

(7) 林下栽植密度試驗區

在點狀疏伐區上木保留 200 株和 300 株之林分內，進行每公頃 1000、1500 和 2000 株下木栽植之三種栽植密度試驗。以探討不同上木和下木密度對下木生

長之影響。

(8) 筑波山之長期育成循環施業

關東森林管理局東京分局森林技術中心爲了建立一種能進行長期森林撫育之循環施業系統，以營造出多樣型式之複層林相，形成鑲嵌式之森林(Mosaic forest)還在上述之帶狀二段林內選定 9.65 公頃進行長期育成循環施業。首先將全區劃分成 33 個小區，以 20 年間隔分散伐採，每次小面積皆伐 7-8 小區，並進行更新，主伐期爲 160 年生，如此經過八次伐採後便形成 8 段齡級之多段林。此種長期育成循環施業，不但能造成有法正林理念之不同年齡和結構之組成，還能在循環在定時收穫期間提供大徑級之木材，同時也將發採與更新所需之人力與物力分散到各收穫期。然而爲達到上述之目標，則必需有高密度之林道網之建立和維護。

2. 小集水區生態系模式林之建造

試驗地位於關東森林管理局茨城森林管理暑局轄下位在茨城縣城里町之大澤國有林 285 林班內，該試驗地是由日本森林總合研究所和關東森林管理局森林技術中心共同合作於 1996 年所設置，面積爲 21 公頃，海拔分佈在 200~400 公尺，是一由 57 年生柳杉、扁柏和闊葉樹組成之人工林。該試驗地是爲大澤集水區面積 316 公頃中之一部份，所建造之模式林乃以集水區全部進行規劃，而各項作業以小集水區爲單元進行。

在上述之小集水區內，依設定之目標進行不同區劃和不同之經營措施，全試驗地區劃成五區如下：

- (1) 溪畔林保留區－選擇谷底與氾洪區，透過持續之疏伐，下層濶葉樹林之進入和溪畔植生之恢復以期溪畔人工林能確保河川溪流安全，做爲野生動物棲息場所之保護和與提供生態廊道之功能。
- (2) 針葉樹林育成區－選擇現存木生長良好，林道網密，生產效率高之造林地，推行集約施業、誘導經營爲長伐期、經濟價值高之良質材生產林分。

(3) 針潤二段林區－在地形斜面上側，造林木生長性況較劣之處，適度導入潤葉樹種，維持未來生產木材和生物多樣性之機能，並形成從針葉樹林育成區到潤葉樹之之生物多樣性移行帶。潤葉樹林育成區－在造林木生長甚劣之處和森林施業困難之處如山稜、急斜地和岩石地等，造林木砍伐後以天然更新之方式導入潤葉樹林之形成，以達到國土保安及提增生物多樣性之目的。

區劃之目地是要將目前單一針葉樹之人工林適度的導入闊葉樹，進行森林內容多樣化之規劃，追求長伐期森林木材生產和公益功能之平衡，並開發能高度發揮森林多方面機能之有效率的管理經營方法。試驗結果顯示鑲嵌式之植生構造，以減低人工林之缺點與脆弱性，而確保森林生態系之多樣性與健康性。

為提升林業之生產基礎與施業效率，建立良好之林道網是有決對必要。對針葉樹育林區之現有之林道網，加以整備，以供為作業循環之路網，對於路肩應多做些保留，以促進鄰接林分之成長與提高林分構造之多樣性，林道兩側部分必要時可進行潤葉樹之栽植。

試驗地內除了林木植群外亦考量到林內之鳥類資源，2002 年在林木樹幹上裝設 20 個(直徑 20cm，長 50cm)之鳥巢箱供鳥類棲息和繁殖。同時對部分良形質木進行環狀剝皮以人為方式造成類似天然大徑枯立木之環境，提供野生動物或鳥類之棲地及築巢場所。

為了驗證施業之效果與適宜性，還對試驗地各種施業進行監測。1998 年設立固定調查區，就林木之生長，稚樹和地被植生之組成與現存量等，定期加以調查。此外亦進行動物相和昆蟲相之監測，經由累積之資訊建立施業方法，並以調適性經營之手段評估施業之妥當性和做必要之改進。

(五)日本佐白山日本扁柏老齡林之經營

依據文獻記載在日本約 1500 年之歷史中，日本原來擁有豐富之天然林，但過去因多種原因，大量砍伐天然林以供木材使用，使得全國之天然林所剩無幾，直到 17 世紀，日本才開使注重森林資源之保育，陸續進行日本扁柏和柳杉之造

林，所以現在日本看到的所謂老齡林，事實上絕大多數都是人工林，因此，日本可以說是世界上人工林經營歷史長遠之國家。

佐白山(Sashiro-san)之日本扁柏林，是日本東岸造林歷史最久遠的扁柏林人工林之一，至少有 230 年之歷史。佐白山日本扁柏林為於日本戰國時代諸侯之封地內因此在過去未受人類活動之干擾。

在日本從 1970 年代起，森林之公益機能就逐漸被人民重視，因而在森林作業中提出非皆伐式之施業和複層林之觀念。現今為能期待森林多方面機能之發揮，誘導森林成為針闊混交林，進行長期育成循環施業和長伐期施業等更成為現今日本所倡導之森林施業方式。

由於目前日本欠缺超過 100 年長伐期施業之技術和各演替階段林相之組成變化之相關資訊，因此，日本森林總合研究所和日本關東森林管理局森林技術中心合作，於 2008 止年在茨城縣 100 年生以上之人工林內設置 25 個研究樣區，以監測高齡林人工林組成、構造與機能等動態變化和對疏伐之反應。佐白山之日本扁柏林是在所設置研究樣區中樹齡最大(約 180 年)之樣區。

2008 年之資料顯示在日本扁柏林老齡林內除了原有之日本扁柏林外，還有許多之天然更新木包括常綠與落葉之闊葉樹，和天然更新之日本扁柏林和其它針葉樹。表一顯示日本扁柏林老齡林之組成與結構。

林分株數(DBH>5cm)	804/ha
斷面積	55.0 m ² /ha
林分株數 (日本扁柏)	139/ha
斷面積(日本扁柏)	45.3 m ² /ha
相對斷面積(日本扁柏)	77.9%
平均 DBH(日本扁柏)	60.4 cm
最大 DBH(日本扁柏)	91.3 cm

佐白山之日本扁柏老齡林結構顯示 DBH 大於 50cm 者皆為日本扁柏此種結構與台灣檜木老齡林相似。和台灣檜木老齡林林分相同，日本扁柏老齡林內除了日本扁柏外(含天然更新之扁柏)，還混雜為數甚多之其它針葉樹和闊葉樹。顯示出老齡林在其演化之過成中因樹冠面積之減少，孔隙數量和面積之增加，導致多樣性植物之自然更新，因而不但使老齡林結構變得複雜亦提升物種之多樣性。

高齡級之人工林不僅造林木具有但很高之蓄積，由於，在其生長過成中經過自然和人為之干擾，導入闊葉樹之進入，增加整體之生物多樣性和森林結構之複雜度，進而能高度地發揮森林多方面之機能。在日本由於從經營出之高齡級之人工林之單木市價很高，因此非常注重中壯齡級人工林之經營與定期之撫育作業。

(六) 疏伐木和未來木之挑選

人工林之經營中疏伐是必要之經營手段。在疏伐作業中疏伐之方式、強度和疏伐木之挑選則是在疏伐決策中需解決之問題。疏伐之方式可分成單株疏伐、行列疏伐和群狀疏伐，其中單株疏伐又分成下層疏伐和上層疏伐。除了這些傳統之疏伐方式外，在日本，渡邊定元教授最進提出一種新之疏伐方式，廣受日本私有林主之歡迎，值得國內參考。

渡邊定元教授提出中層疏伐之蓋念，此概念與台灣常用之下層疏伐最大之不同處在於保留木留存之差異。後者在疏伐時是將林分內那些樹冠處於林分冠下層冠之枯死木、被壓木，中勢木、形式不佳和生長不良之林木砍伐，其餘林木保留作為未來之主伐木，換言之是由疏伐木決定主伐木。渡邊定元教授提出之中層疏伐則是相反，是先透過未來主伐木之後選木之選擇後，再決定疏伐木之對象。

簡單來說，渡邊定元氏位於新富市宮地區之匾柏和柳杉人工林中層疏伐試驗地，是依據林分現存之密度，保留 10-20%林木作為未來主伐收穫木(約 200 年生)之候選木，後選木之挑選是基於該林木樹高生長和胸徑生長之表現，每 5-7 年進行一次疏伐，每次疏伐木之選則，則是基於該木對後選木之影響，若對後選木之影響大(不論大小)則與予砍伐，沒有影響或影響小者則與予保留。當然在多次之疏伐中亦可視實際情況調整部分之後選木。如此作業反複多次後，至主伐時大約

有 10% 之林木(100 株/ha)可供伐採。

實施下層疏伐時由於所收穫之疏伐木在徑級上多數中小徑級，在市面上材價甚低，扣除疏伐作業之成本後，經常利不及費，造成林主或管理機關常因基於財物上之考量，大多不願進行疏伐。然而依據渡邊定元氏之中層疏伐，疏伐木不但有中小徑級之木材有為數不少之大徑材。由於在日本不同徑級單木在市場上之價格差異甚大，所以大徑材疏伐木之市場收入扣除疏伐作業之成本後還有為數可觀之利嫩可得，使得林農在經營森林長時間之期間定期能有不錯之經濟收入增加其進行疏伐之誘因。森林也因妥善之經營管理，形成良好之森林結構更能充分發揮森林之各種機能。

(七) 赤沢(Akasawa)自然修養林內之日本扁柏天然更新試驗地

赤沢(Akasawa)自然修養林位於長野縣之木曾區(Kiso)，面積約 1265 公頃，海拔為 1080~1558 公尺，是日本第一座天然森林遊樂區。由日本林業廳(Forestry Agency)中部森林署木曾地區森林管理局管轄。赤沢自然修養林地處冷溫帶，林內充赤者多種之天然林木，主要樹種是 *Hinoki (Chamaeyparis obtusa)*, *Asunaro (Chamaeyparis pisifera)*, *Asunaro (Thujopsis dolabrata)*, *Koyamaki (Saiadopilys verticillata)* 和 *Nezuko (Thuja standishii)*。此處之天然 *Hinoki* 又稱為 *Kiso Hinoki*，是日本最美麗和良好經營之著名地，與青森縣之 *Asunaro* 和秋田縣之柳杉(*Sugi*)並列日本三大旅遊景點。

赤沢自然修養林之社置是要創造森林和人類共生與合作之環境，因此，其經營管理是要保存自然環境與改進文化與休閒之功能。美麗之森林景像吸引每年約有 10 萬人之造訪，也是現今少數還有森林鐵路之森林遊樂區。

赤沢自然林內之 *Hinoki* 林齡平均為 300 年，在較低地區 *Hinoki* 常和 *Marubanoki (Disanthus cercidifolia)*混生，在較高處 *Hinoki* 則和 *Shinanozasa (Sasa senanensis)* 混生。此自然林由於過去長期多次之擇伐與天然更新使得林內之林分密度和蓄積之變異性大，平均胸徑為 42cm，樹高為 22m，密度為 250 株/ha，蓄積為 450 立方公尺/ha，但最高之蓄積量可達 1600 立方公尺/ha。林內天然更新

扁柏幼苗在林木樹根、倒木和岩石上之現像與台灣棲蘭山和阿里山檜木林天然更新之情況相同。

1969 年木曾森林管理署將赤沢自然林劃出 728 公頃之面積作為自然休閒林提供相關設施供民眾休閒使用，並在細分成自然教育區、森林運動區、景觀保護區與風景探勝區。

(八) 日本木材製材及加工廠之現代化

池田木材株式會社之製材場位於木曾地區，所使用之木材主要是木曾檜，當地人認為是世最好之木材之一。現有之木曾檜是來自江戶初期保留之母樹種子，經天然更新後，經過 300 年以上之環境之鍛煉培育而成。因此材值極佳，材價亦高。其展示之扁柏原木，材長 6m，直徑 100cm，材價可達 600 萬日幣，若材長 10m，則材價可達 1000 萬日幣。該製材場之產品除供一般住宅用材外還供應神社寺廟之用。同時小尺寸木材用作工藝用材，樹皮、廢材做為燃料，進行全材之利用。該廠原木在大剖製材時，利用雷射電腦精密模擬計算，定位後，製作出最佳尺寸及製材率，此種製材及全材利用方式，值得台灣木材製材加工業學習。

(九) 森林景觀視覺化技術之快速發展

所謂景觀視覺化(Visualization)簡單來說，是指透過實體或抽象之影像將實物或虛擬物體之形體表達出來之方法與過程。此個體可以是由真實世界所觀察到的真實物體景觀或是透過計算過程產生的虛擬物體景觀。物體視覺化處理之優點在於對人類而言，與其它媒介(如文字或符號)相比，視覺影像容易被人感受，進而幫助人類能較容易地瞭解複雜之現象與過程。森林景觀則是以森林為背景之景象。

基本上景觀視覺化處理所用之工具與方法可分成類比(Analog)和數位(Digital)兩大類。前者所用之方法包括了繪圖，實體物件，類比照相(影像)，後者則是使用數位式之影像借重電腦處理和電腦繪圖技術。近年來發展出之三度立體空間電腦繪圖(3D CG)由於具有能正確模擬各種行動方案產生之景觀改變之能力，利於專業人員和民眾之溝通與討論，使 3D 電腦繪圖之使用成為景觀規

劃中最新之潮流。

Sheppard (1989)指出在從事景觀視覺化處理時應遵從五大原則，分別為(1)視覺化結果能反應景觀之特徵或是主體之代表性，(2)能正確地模擬出地景之實際或期望之外觀，(3)能明確鑑別出地景的組成份子結構，(4)能吸引觀察者之興趣，(5)其正確性能被驗證。

一般言之，從事森林景觀視覺化系統之建立，應包括下列三大步驟：

(1) 收集景觀組成份子(植物、地型和建築物)之 3D 資料，其中植物資料(如樹種、數齡、大小)可以從植群圖或野外調查得到。地型資料可透過 GIS 中之網格資料(等高線或數值地型模型)得到。而建築物資料則由建築設計圖提供；(2)就上述收集之資料，透過轉化介面或程式轉成視覺處理語言(如 VRML 或 KML)可接受之形態，再交由視覺景觀方面之電腦軟體進行處理；(3)將經電腦處理後產生之影像，透過網路介面顯示在使用者之電腦上，並提供使用者在終端機前體驗在規劃區進行即時漫步(Walk through) 之機會。

在景觀結構設計和分析領域中，景觀視覺化技術常被用來分析景觀之資源，預測各種行動方案會帶來景觀之變化和評估這些方案對景觀衝擊之影響等。在景觀規劃中由於視覺化技術之不斷改進，使得近年來景觀視覺處理成爲大眾欲瞭解和比較不同方案時之很有力之工具。

Honjo 教授從事景觀視覺化之研究以有 10 年以上之經驗。Honjo 教授可以說是日本開發景觀視覺化研究之啓蒙者。在過去之研究中 Honjo 教授首先使用虛擬實體(virtual reality)之概念，先後在國際期刊上發表多篇景觀視覺化在景觀規劃上應用之研究。其觀念與技術上之指導對報告人從事森林美學和景觀視覺化之研究助益良多。

四、建議事項

(一) 加強人工林疏伐木選擇方式之研究

疏伐作業是人工林永續經營中至為重要之施業，疏伐作業不但會對主林木造成影響亦會對森林地被和森林環境有所影響，進而影響森林多功能之發揮。然而疏伐作業本身是一種經濟活動，必需考量成本與經濟效益，要有經濟誘因才能持序進行。過去台灣常因利不及費之故，造成許多人工林未整理而形同荒廢。此乃與人工林疏伐木選擇之方式有關，在過去常用之下層疏伐方式中由於疏伐木之對象主要為生長不良之被壓木和形質低劣之劣勢木，由於此等木材之市場價格低落導致利不及費，因此欠缺施行疏伐作業之經濟誘因。雖然國內有實施行列疏伐之得到較大徑級疏伐木之實例，但因現有之行列疏伐無法讓保留帶內之林木發揮其生長之潛能，故與日本渡邊定元教授提出中層疏伐之概念不同。由於渡邊定元教授所提出之中層疏伐除了考量對環境之衝擊外還為實疏伐作業提供有效之經濟誘因，其選擇疏伐木之新觀念頗值得引進，因此建議台灣應修正目前人工林疏伐木選擇之方式找出能增加經濟誘因之選木方式。

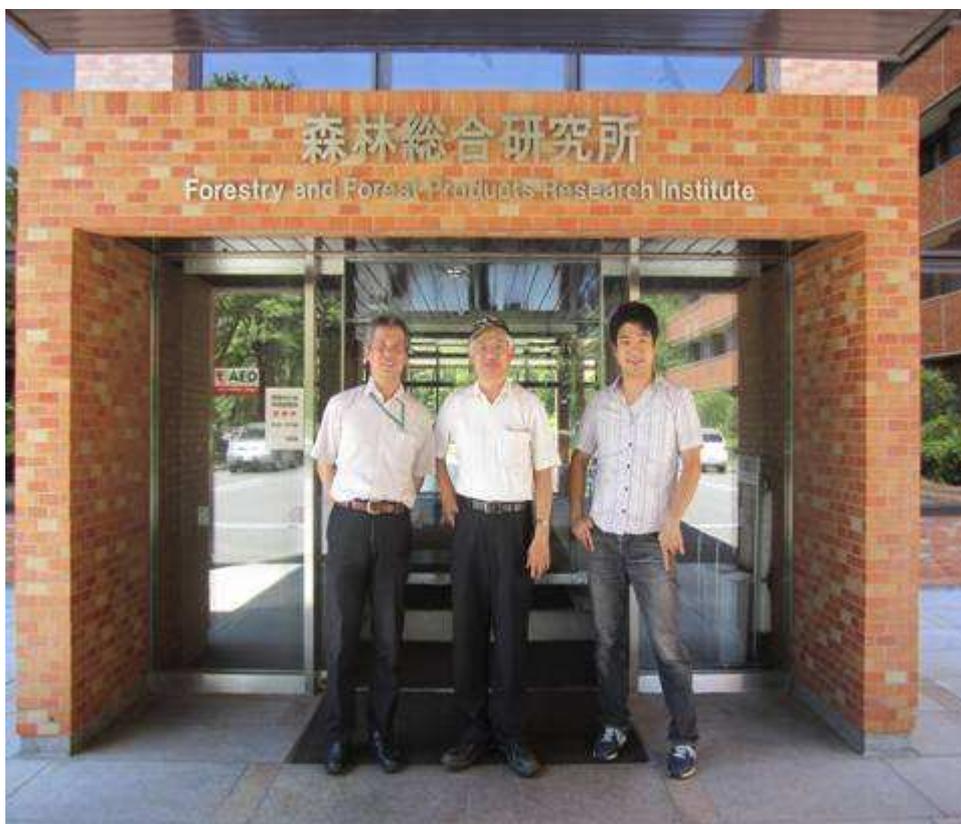
(二) 加強與日本進行人工林混淆方式之研究

日本為了因應戰後復興需要大量之木材，因此進行擴大造林政策，將現有之低經濟價值之天然闊葉林改種植經濟價值高之針葉樹林如柳杉和扁柏等。此種方法類似台灣過去實施之林相改良，雖然增加許多高經濟價值之單純針葉樹人工林，但對生物多樣性而言則有缺憾。過去日本很少種植闊葉樹，但近年來日本也逐建營造針闊葉樹混合之人工林。和台灣相同，日本也面臨針闊葉樹混合人工林營造之問題，亦開使進行相關研究。此外，對單一樹種或多樹種之人工林而言，複層林之建立可增加林分水平和垂直結構之異質性，有利於野生動物、鳥類物種之增加和生態系之穩定。由於兩國地理位置和林地狀況甚為類似，加強兩國就人工林混淆方式之研究實屬必要。

(三) 加強森林景觀視覺化方面之研究

森林景觀係指以森林為背景之景觀。在森林景觀因素中除了道路、房屋之建築外，地形和動植物亦為景觀中之重要因素。過去國內對森林景觀之研究都是局限於使用森林景觀照片或幻燈片從生心理模式(Psychophysical model)來進行森林景觀美質之評估，對於景觀視覺化電腦處理則鮮有觸及。有鑑於此，林業試驗所在 96 年度開始進行森林景觀視覺化評估和模擬之先驅研究。該研究是以六龜試驗林扇平生態科學園為範圍，透過 Google Earth 和 Google SketchUp 3D 建模軟體進行物件模擬和景觀配置，獲得初步良好之成效。但由於電腦軟體之快速發展和虛擬環境在森林景觀管理經營上未來廣範之應用性，建議林業試驗所以原有之研究結果為基礎，繼續進行森林景觀方面之後續研究並建立森林景觀視覺化處理技術平台，以期將發展出之森林景觀視覺化處理技術應用在國內森林相關之產業或遊樂區來改善現有之森林景觀。

六、照片



拜訪日本森林総合研究所(左為正木隆室長、中為作者、右為菊地賢)



作者發表專題演講



與會者提出問題



和與會者進行討論



和日本森林總合研究所研究人員合影留念



筑波山複層林試験地



筑波山日本扁柏複層林試験地



日本關東森林管理局森林技術中心所長林田(左一)現地説明



筑波山日本扁柏人工複層林



筑波市之筑波植物園之整體規畫



筑波植物園 Dr. Yukawa 向作者說明筑波植物園之狀況



城山國有林之佐白山試験地



佐白山日本扁柏之天然更新



城山國有林之大沢試験地



大沢試験地針葉樹導入闊葉樹之施業



利用環剝方式產生枯立木



針闊葉樹二段林區



渡邊教授在其住處接待



渡邊教授進行試驗地之介紹和疏伐木之選擇



疏伐帶之天然更新和保留帶中下次疏伐木(綁一層藍色線者)，兩層藍色線者為保留之主伐木



未來後選之保留木



日本扁柏行列疏伐後天然更新之林相



行列疏伐後天然更新之柳杉幼苗



從渡邊教授試驗地遠望富士山之景色



池田木材株式會社製材場社長池田聰壽(右一)簡介該場之狀況



剝皮後之原木，製材時，使用雷腦模擬並以雷射定位後，再製材，以達最佳之選材及製材率



檜木製材後之規格



與 在森林総合研究所木曾試験地辦公室前合影



赤沢自然修養林



赤沢自然修養林内之植物群落保護區



赤沢自然修養林内之鳥獣保護區



和 Honjo 教授合影於東京大學門前



東京大學古老之建築物