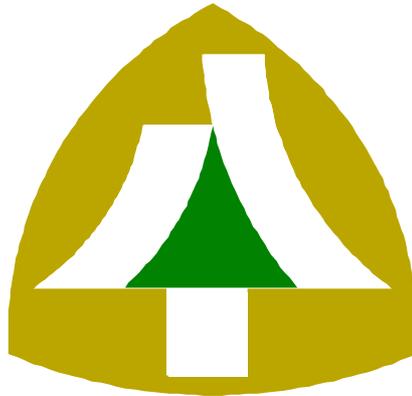


行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-5-08

遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究
期末報告



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立臺灣大學森林環境暨資源學系

中華民國 99 年 12 月

章節目錄

章節目錄.....	2
圖目錄.....	3
表目錄.....	4
摘要.....	5
壹、計畫目標.....	6
貳、98 年度計畫內容回顧與維護.....	10
一、98 年度研究對象.....	10
二、造林小區空間 GIS 資料庫更新.....	11
三、收集多期衛星影像.....	12
四、調整 98 年度最佳光譜資訊推估全區林分參數模式.....	13
參、工作成果.....	20
一、1 公頃樣區.....	20
(一) 1 公頃樣區設置定義.....	20
(二) 1 公頃樣區設置方法.....	21
(三) 次樣區調查.....	21
(四) 應用半球面影像計算林分鬱閉度.....	23
(五) 1 公頃樣區調查結果.....	26
二、立地條件.....	28
(一) 依據林分生長狀況進行土壤條件調查.....	28
1. 土壤採集樣塊規劃.....	28
2. 土壤採樣流程.....	30
3. 土壤質地分析試驗.....	30
4. 土壤樣本分析結果.....	30
(二) 依據林分參數進行立地級分類.....	32
(三) 依據立地級分類進行土壤調查.....	33
四、迴歸分析.....	36
五、材積估算與碳含量轉換結果.....	40
(一) 樣區材積估算結果.....	40
(二) 樣區碳含量轉換結果.....	41
肆、結論與建議.....	42
參考文獻.....	43
附錄.....	44
附錄一.....	44
附錄二.....	45
附錄三.....	46

圖目錄

圖 1 研究流程圖.....	6
圖 2 造林小區樹種分布圖.....	7
圖 3 99 年度造林小區樹種分布圖.....	11
圖 4 光臘樹林分參數與光譜資訊迴歸結果.....	14
圖 5 林分覆蓋度與成活率之二次多項式迴歸.....	17
圖 6 林分覆蓋度、林分材積、成活率之像元空間分布圖.....	17
圖 7 現地林木生長狀況照片與林分材積像元空間分布圖之連結.....	19
圖 8 1 公頃樣區樹種分布與次樣區編號.....	20
圖 9 1 公頃樣區與均質區套疊圖。黑色區域為均質林分.....	20
圖 10 (a)樹冠鬱閉度與(b)樹冠覆蓋度示意圖.....	23
圖 11 同樣角度下樹冠孔隙度受樹高影響情形.....	24
圖 12 半球面影像.....	25
圖 13 半球面攝影使用器材.....	25
圖 14 次樣區中魚眼拍攝點分布圖.....	25
圖 15 土壤採集樣塊區域.....	29
圖 16 土壤採樣流程圖.....	29
圖 17 土樣照片.....	31
圖 18 林分材積與各林分參數之間的關係.....	32
圖 19 二種立地級分類結果散布圖.....	32
圖 20 二種立地級分類次樣區分布圖.....	33
圖 21 次樣區林分參數空間分布圖.....	34
圖 22 林分鬱閉、林分樹冠、林分覆蓋立地級分布圖.....	37
圖 23 樣區推算與模式估算蓄積量空間分布圖.....	40
圖 24 樣區推算與模式估算碳含量空間分布圖.....	41

表目錄

表 1 光復鄉各樹種栽植面積(ha).....	10
表 2 SPOT-5 衛星資料空間解析度與多光譜模式.....	12
表 3 光臘樹光譜資訊與林分參數推估模式之 R^2 值.....	13
表 4 各模型刪除之資料點.....	13
表 5 各模型函式表.....	14
表 6 98 年度計畫樣區調查結果.....	15
表 7 各模式估算結果與樣區估算結果比較.....	18
表 8 每木調查紀錄表.....	21
表 9 樣區現地狀況調查及四角位置定位紀錄表.....	21
表 10 公頃次樣區調查資料表.....	27
表 11 土壤樣本初步分析結果.....	31
表 12 各立地級平均林分參數與土壤性狀.....	35
表 13 各迴歸預測式之決定係數 (R^2)	36
表 14 林分鬱閉立地級平均林分參數與土壤性狀.....	38
表 15 各最佳預測式之變數標準化係數整理.....	39

摘要

本研究旨在結合遙測與地面調查技術，利用不同植物的光譜反射特性，使用遙測技術建立不同樹種精確且大規模林分蓄積量的光譜估算蓄積量模式，以期能夠快速且正確掌握平地造林現況及固碳量。98 年度計畫成果良好，以光譜值結合樣區地面調查資料推估出的全區林分參數空間分布圖能夠清楚展現林地生長狀況趨勢，惟 98 年度計畫研究對象為純林分樣區，無法準確估算出全區混植樹種林分之正確林分參數，僅能展示空間分布趨勢。本年度計畫於混植林分中設置 1 公頃樣區，並加入立地級分類概念，將 25 個次樣區分類後之立地級數以虛擬變數方式加入迴歸分析中，即針對不同立地級生長狀況之林分發展適合的估測模式，藉此提高估測模式之預測能力。除以林分參數估測林分材積之外，本年度仍應用衛星影像光譜資訊進行混植樹種林分參數之迴歸分析，期望未來檢測林分生長成果時能夠節省人力及時間成本。本研究使用二種立地級分類稱為生長表現（Growth Performance）與立木數量（Tree Amount），前者以平均樹高及平均胸徑為依據，後者則以林分密度及成活率作為依據。迴歸分析分為三部份：1. 林分參數之間，2. 林分參數與光譜值，3. 林分參數與林分參數結合光譜值，總共 16 個預測式中，有 12 個加入虛擬變數的預測式調整後決定係數（adjusted R square）表現最佳，顯示立地分級確實對於提升模式預測能力有所幫助，其中以生長表現分級較為合適，若能將全區之立地級加以分屬，預期能夠計算出相較於 98 年度計畫結果更為精確的數據，提供經營決策管理者更佳的參考依據。

關鍵字：平地造林、衛星遙測、林分材積、立地級

壹、計畫目標

結合遙測與地面調查技術，發展適用於估算大面積平地造林地碳匯數量的作業模式，以期快速且正確掌握平地造林現況及固碳量。

計畫研究以花蓮光復鄉為研究區域，整體研究流程如圖 1 所示。本年度計畫延續 98 年度研究對象之檫樹與光臘樹純林分，並增加建構混合樹種林分之林分參數模式，以期符合目前多數的平地造林混植狀況。地面樣區調查成果與衛星影像之光譜資訊結合發展的林分參數模式分為林分材積、林分覆蓋度與林地成活率等，並以立地等級評估模式提升林分參數模式之可性度及準確度。

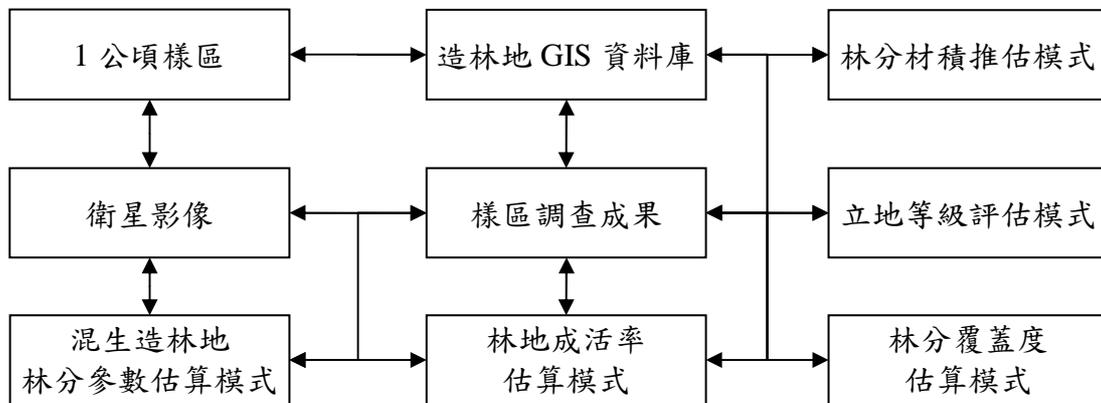


圖 1 研究流程圖

重要工作項目：

1. 設置 1 公頃的大樣區進行光譜與林木關係的基線資料。

將依據 98 年度林務局已建立的造林地 GIS 資料庫中造林小區的分布情形，如圖 2 所示，以既有造林小區內樹種分布為依據，選擇純林與混淆林相鄰的造林地，設置 1 公頃的大樣區，在樣區內依 20 × 20 m 的方式，設置 25 個次樣區，進行次樣區內每株林木胸徑、樹高與冠幅大小等量測。

次樣區的各项調查結果，將配合抽取出衛星影像的光譜反射特性，進行關連分析，同時亦將探討各小樣區的立地與生長狀況的評估。

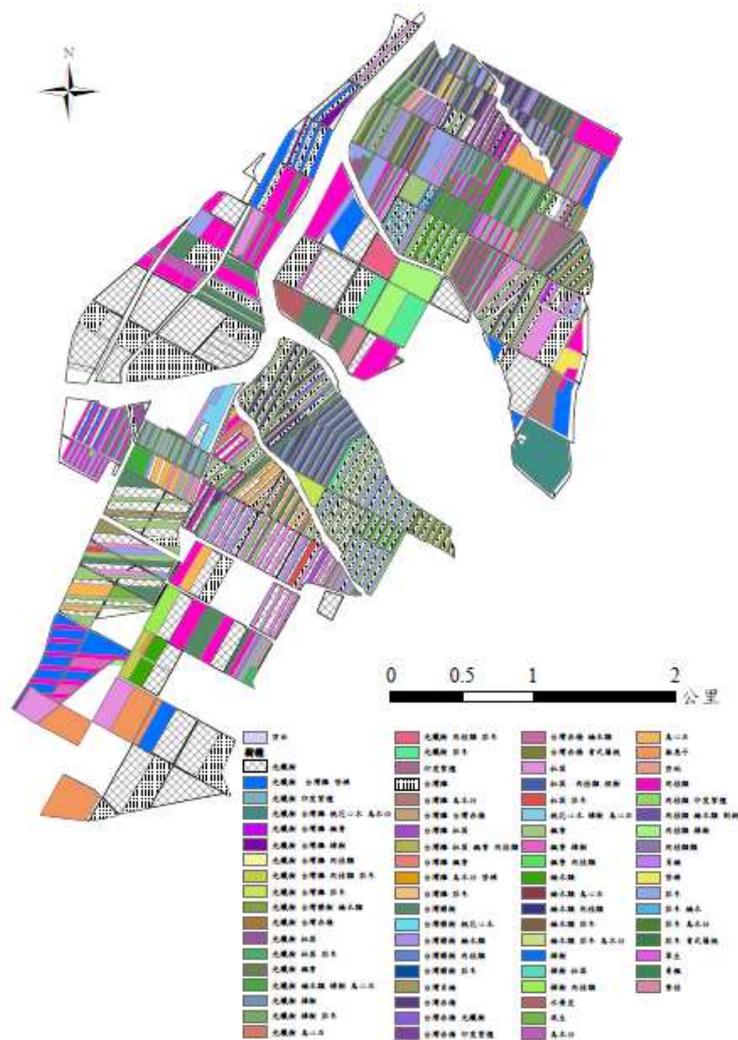


圖 2 造林小區樹種分布圖

2. 更新研究區域內平地林地 GIS 資料庫。

98 年度林務局完成 900 餘公頃造林地之調查與樣區設置，並區分成 1076 造林小區，完成造林地 GIS 資料庫的建置，。本計畫將承續上年度的造林地 GIS 資料庫，除維護既有資料外，同時亦將新增的一公頃樣區資訊納入既有的造林地 GIS 資料庫，做為後續研究使用。99 年度更新造林小區 GIS 資料庫成果如圖 2。

3. 建立立地等級評估模式。

由於本地區造林地其苗木來源應一致，管理方式也一致，因此造成生長差異的主要原因應在立地條件的差異。因此將利用去年及今年新設樣區的林木調查成果，選擇出生長良好及不佳的樣區，以林木生長情況好壞為分層之依據，選擇樣區調查立地土壤性狀，希望能找出影響林木生長差異的重要土壤因子，做為發展立地等級評估模式的依據，進而建立快速評估立地等級之依據。

4. 建立以胸徑、樹高與立地為函數的林分材積的推估模式。

依據 98 年度樣區的調查結果進行分析，顯示利用樣區平均胸徑及平均樹高來推估林分材積時，其 R^2 值為 0.87，調整 R^2 值為 0.7376，尚有改進之空間。因此將利用上述所發展的立地等級評估模式，評估每個樣區的立地等級，以虛擬變數方式建立以胸徑、樹高與立地為函數的林分材積的推估模式，希望能提高估算林分材積的估算精度。

5. 結合半球面影像發展評估林分覆蓋度的估算模式。

由於衛星所接收到地面林木的光譜反射特性時，常常因林地覆蓋程度的不同，而有林地背景反射的情形發生，而導致所接收到的光譜反射值並非全由林木所反射，所以在評估林木光譜反射特性時，常常需要有林地覆蓋的資訊來輔助判斷。由於林木樹冠結構因樹種及生長而有所不同，致使無法僅單憑林木株數或樹冠大小來表示林地覆蓋情形，而需要藉助於其他方式來評估林地覆蓋情形。估測林地覆蓋的方法很多，如目測法、樹冠投影圖法、航空照片判釋法、相對光度法、照相等，其中目測最迅速簡便，但判斷缺乏客觀依據，常取決主觀判定，缺乏科學根據；樹冠投影圖之繪製，不但很難垂直推定冠幅位置，作業費時費力，致使作業難度高；航空照片則受限於照片之拍攝時間很難配合，加上照片上定位的準確性，都影響航空照片的實用性。相對光度法係比較林內與林外光度之差異情況來表示林地覆蓋情形，其原理利用林地覆蓋度高，影響太陽輻射進入林分中之地被層光量，致使林內外差異光度大。但由於太陽入射角度會隨時間變化改變，加上光度值強弱變動，使得影響林內外光度差異並非僅單純的由林地覆蓋所影響，因此，以光度儀器測量單一時間之林內外光度值來比較，亦非很理想。最後則是利用魚眼鏡頭（半球面影像）拍攝林冠相片來判釋林地覆蓋，林下半球面影像可為林冠結構留下永久記錄，因此在森林生態的研究上有很大的潛力。早期以人工分析影像相當耗時，近年來由於電腦影像分析技術的快速發展，使得利用半球面影像來估算林下光照及葉面積指數的應用研究日益普遍，更已推展至林冠受干擾後的回復、苗木生長、棲地品質、森林生產力及植物生理生態等的研究（林登秋、江智民，2002）。但由於半球影像所攝取的方位與影像範圍對所分析之光立地係數有重大影響，拍攝時鏡頭宜用自動水平架維持水平，並在架上加裝微弱光源（如發光二極體）以界定影像範圍。影像對比程度是影響分析精確度最關

鍵的因素，利用天空狀態均質的陰天或日出前的清晨及日落後的黃昏拍攝影像，有助於獲得林冠枝葉與孔隙呈現高對比而較易精確分析的影像，此比事後利用軟體進行影像編修更為實際有效。此外分析者的穩定性，對結果亦有重大影響，只要透過對少量影像進行多次分析即可有效增加穩定性。林下光照多偏離常態分布並易出現空間自動相關，故不符合許多統計分析的基本假說，因此在資料處理時應對此有明確的說明處理。此外利用半球面影像所估測之光立地係數未考量實際天空狀態，因此在比較不同地點的資料時必需非常小心(林登秋、江智民, 2002)。本研究將運用魚眼鏡頭在每個樣區拍攝半球面影像，並進一步分析以估算林地覆蓋度。

6. 配合胸徑、樹高、株數、立地級與覆蓋度，建立林地成活率估算模式。

為進一步結合衛星影像的林木光譜反射特性，預計將利用上述所發展的立地等級評估模式，評估每個樣區的立地等級，以虛擬變數方式建立以胸徑、樹高與立地等級及林地覆蓋度，發展林地成活率估算式，做為估算林地成活率使用。

7. 利用不同植生指數配合地面檢測成果，建立混生造林地林分參數估算模式。

樹種混生的造林地，其光譜反射特性與純林的單一反射性有所不同，會受到混生樹種的多寡及混生比例而有所變動，因此無法直接將純林所發展應用光譜資訊估算林分參數的模式直接套用，而是應另行發展估算模式，將配合前述已完成的樹種混生比例、林地覆蓋度、成活率及林木蓄積資訊，整合衛星影像的光譜植生指數與地面調查結果，發展運用光譜植生指數估算不同樹種混生林分參數的技術，建立混生造林地林分參數（覆蓋度、成活率與林分材積等）估算模式。

8. 比較傳統調查與光譜資訊推估結果。

運用衛星影像的光譜植生指數估算林分蓄積，並與傳統地面樣區的估算結果比較，以其建立利用光譜資訊推估大面積林分蓄積之技術。

貳、 98 年度計畫內容回顧與維護

一、 98 年度研究對象

由台糖公司造林地基本屬性資料之樹種面積部份，可統計出各樹種所栽植之面積，光復鄉各樹種所栽植之面積如表 1。

表 1 光復鄉各樹種栽植面積(ha)

樹種名稱	大全	大富	光復	富田	總計 (ha)	所佔面積 (%)
水黃皮	-	-	-	5.76	5.76	0.58
台灣肖楠	-	3.84	-	-	3.84	0.39
台灣赤楊	-	25.55	-	16.87	42.42	4.28
欖樹	-	43.57	31.52	56.60	131.69	13.28
台灣欒樹	-	33.33	23.14	39.50	95.97	9.68
光臘樹	-	101.18	57.85	36.15	195.18	19.68
印度紫檀	-	-	-	7.10	7.10	0.72
肉桂類	7.63	30.72	10.20	48.12	96.67	9.75
杜英	-	32.44	-	15.73	48.17	4.86
青楓	-	1.00	0.67	-	1.67	0.17
苦楝	-	0.60	-	28.35	28.95	2.92
茄苳	0.46	45.05	5.69	65.13	116.33	11.73
烏心石	-	19.20	-	12.99	32.19	3.25
烏柏	-	-	8.25	-	8.25	0.83
無患子	-	20.07	2.02	-	22.09	2.23
楠木類	-	4.35	-	6.79	11.14	1.12
楓香	-	47.60	-	33.89	81.49	8.22
樟樹	3.44	41.72	2.19	15.29	62.64	6.32
合計	11.53	450.22	141.53	388.27	991.56	100.00

光復鄉之光臘樹栽植面積 195.18 公頃，佔全部面積 19.68%，由於光臘樹栽植面積較大，為配合未來的光譜分析，因此先選定光臘樹作為調查對象。

二、造林小區空間 GIS 資料庫更新

本 98 年度計畫執行完畢後，臺糖公司於大富大農農場仍有執行新植造林計畫，因此今年度計畫執行初期即針對臺糖公司 98 年度新植造林地進行 GPS 定位測量並調查樹種，同時勘查既有之造林小區現況併維護造林小區 GIS 空間資料庫。今年度造林小區分布圖調查結果如圖 3。

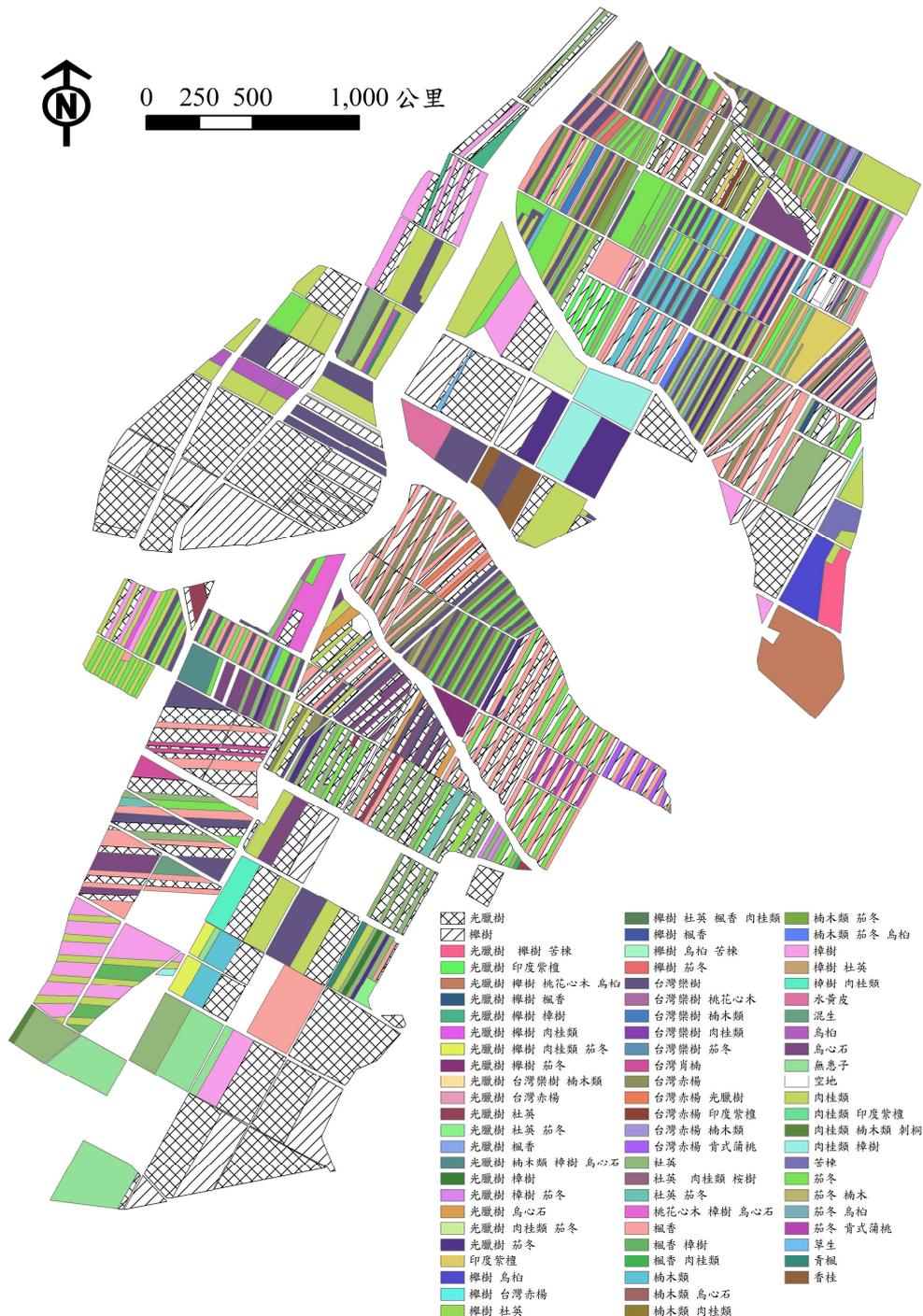


圖 3 99 年度造林小區樹種分布圖

三、 收集多期衛星影像

研究使用法國 SPOT-5 衛星之衛星影像進行分析。SPOT-5 衛星之感測器可記錄綠光 (Green, G)、紅光 (Red, R)、近紅外光 Near-Infar Red, NIR) 及短波紅外光 (Short-Wave Infra Red, SWIR) 波段，各波段光譜值可推算植生指數，進行光譜特性分析，進而了解植物生長情形及表現 (曾仁鍵，2004)。

表 2 SPOT-5 衛星資料空間解析度與多光譜模式

感測器	多光譜態 (HI)
波段	綠光 (G) : 0.50~0.59 μm
	紅光 (R) : 0.61~0.68 μm
	近紅外光 (NIR) : 0.79~0.89 μm
	短波紅外光(SWIR):1.58~1.75 μm
空間解析度	10m

SPOT-5 衛星影像由國立中央大學遙測中心購買。首先進入中央大學遙測中心產品查詢網頁，指定衛星影像範圍及條件，再篩選適合本研究之衛星影像。

中央大學遙測中心之衛星影像標準產品幾何改正處理等級分為三大類：原始影像 (等級 1A、1B)、系統改正影像 (等級 2A)，以及精密幾何改正影像 (等級 2B、3)，本計劃購買之衛星影像皆為等級 3，詳細說明如下：

製作時，首先利用全台灣地面控制點 (Ground Control Point, GCP) 資料庫選取相對應之影像控制點，求得精確方位參數。再利用農委會全台灣 40 公尺網格數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 資料進行高差位移修正，並將結果投影在使用者所指定之地圖座標系統上，產生正射影像 (Ortho-Image)，是為等級 3 之產品。等級 2B 之產品則未使用數值地形模型，改以控制點平均高度來進行幾何糾正。而影像重新取樣方式，選擇最鄰近法 Nearest Neighborhood, NN) (中央大學遙測中心，2010)。

篩選衛星影像基礎原則為：入射角絕對值不超過 30° ，平均最大雲量百分比不超過 30%。經由產品查詢後，由 2010/01/01 截至目前為止，尚未有適合之 SPOT-5 衛星影像，因初夏起臺灣上空陸續遭遇鋒面侵襲導致雲相不佳，估計梅雨季後至颱風季期間應可有品質良好之衛星影像可供使用。

四、 調整 98 年度最佳光譜資訊推估全區林分參數模式

98年度利用R波段光譜反射值與常態化植生指數 (Normalized Difference vegetation Index, NDVI)(Rouse, Haas, Schell, Deering, & Harlan, 1974)(公式如下) 建立之櫟樹與光臘樹林分參數 (林分覆蓋度、林分材積、成活率) 模式, 其預測能力以光臘樹模式為佳。本年度加入土壤適應植生指數 (Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI) (Huete, 1988) (公式如下) 為預測變數建立指數模式, 並調整98年度模式類型以及刪減不正常極值之資料點以增加R²值, 結果如圖4, 並將各模式R²值整理為表3、刪除之資料點整理為表4、各模式之函式整理為表5。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

$$SAVI = (NIR - R) * (1 + L) / (NIR + R + L)$$

式中

NIR：近紅外光反射值

R：紅光反射值

L：土壤線常數，全球通用L=0.5

表 3 光臘樹光譜資訊與林分參數推估模式之 R² 值

林分參數	影像日期	光譜資訊		
		R	NDVI	SAVI
林分 覆蓋度	20090513	0.87 ^a	0.94 ^b	0.95 ^b
	20090624	0.88 ^a	0.93 ^b	0.92 ^b
林分材積	20090513	0.68 ^a	0.88 ^b	0.88 ^b
	20090624	0.66 ^a	0.86 ^b	0.86 ^b
成活率	20090513	0.60 ^c	0.59 ^c	0.62 ^c
	20090624	0.62 ^c	0.70 ^c	0.70 ^c

^{a)} 簡單線性模式；^{b)} 指數模式；^{c)} 二次多項式模式。

表 4 各模型刪除之資料點

林分參數	影像日期	光譜資訊		
		R	NDVI	SAVI
樹冠 覆蓋率	20090513	B4, B12	B4, B12	B4, B12
	20090624	B4, B12	B4, B12	B4, B12
林分材積	20090513	B1, B2	B1, B2, B12	B1, B2, B12
	20090624	B1, B2	B1, B2, B12	B1, B2, B12
成活率	20090513	B5, B12	B12	B12
	20090624	B5, B12	B12	B12

表 5 各模型函式表

林分參數	光譜資訊	2009/5/13	2009/6/24
林分覆蓋度 (%)	R	$y = -4.29x + 174.42$	$y = -3.75x + 171.98$
	NDVI	$y = 6.73 e^{3.89x}$	$y = 5.82 e^{4.07x}$
	SAVI	$y = 6.18 e^{2.70x}$	$y = 4.75 e^{2.95x}$
林分材積 (m ³ /ha)	R	$y = -2.32x + 82.02$	$y = -2.07x + 81.49$
	NDVI	$y = 0.08 e^{9.36x}$	$y = 0.06 e^{9.81x}$
	SAVI	$y = 0.07 e^{6.46x}$	$y = 0.04 e^{7.10x}$
成活率 (%)	R	$y = 0.63x^2 - 43.29x + 775.79$	$y = 0.58x^2 - 43.70x + 857.68$
	NDVI	$y = 1066.24x^2 - 775.86x + 170.00$	$y = 1312.60x^2 - 1025.25x + 227.09$
	SAVI	$y = 529.52x^2 - 588.94x + 191.33$	$y = 618.44x^2 - 747.30x + 255.97$

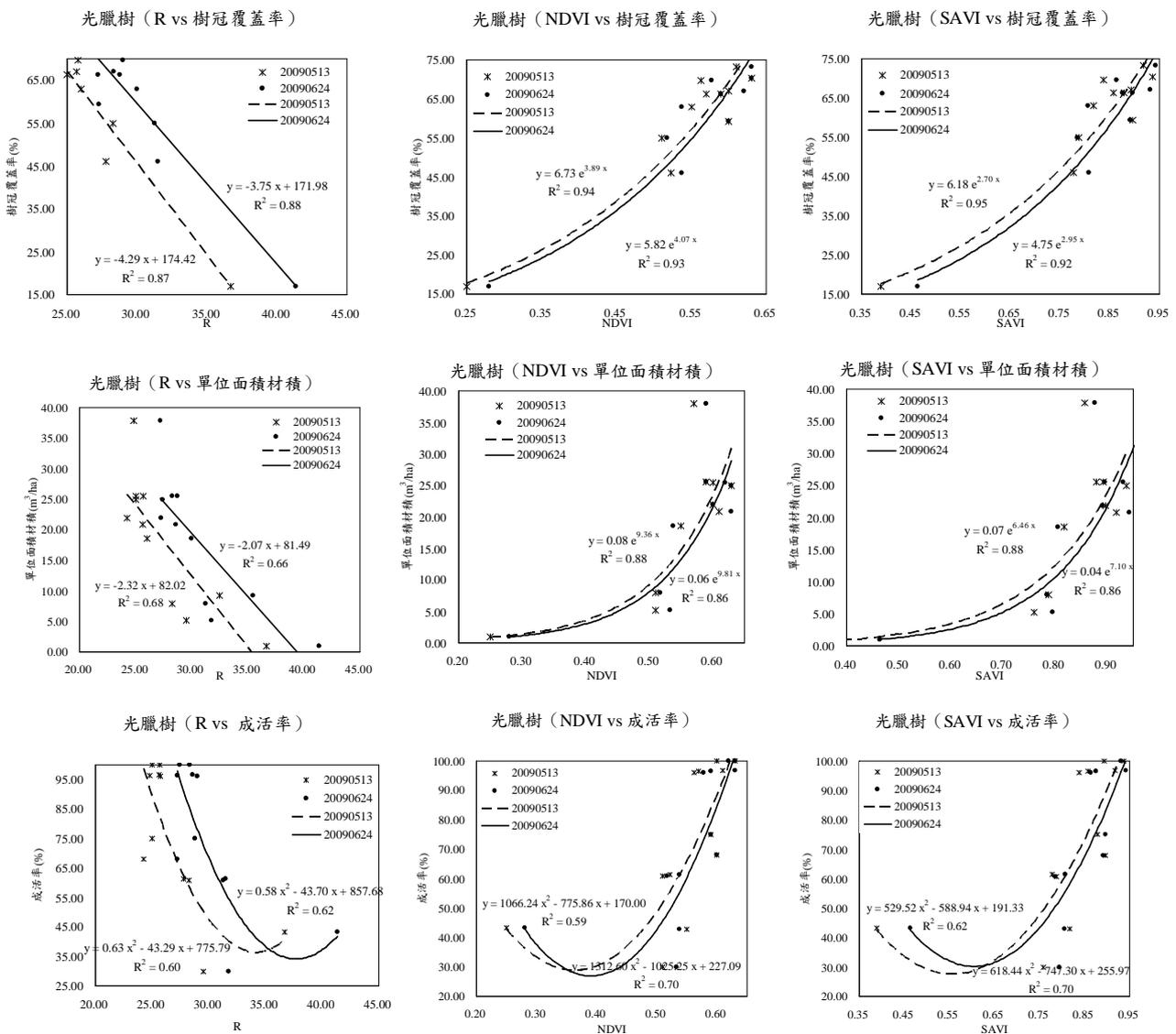


圖 4 光臘樹林分參數與光譜資訊迴歸結果

其中成活率之模式類型為二次多項式，呈現勾狀趨勢，似乎不甚合理。

為解釋此一情形，將 98 年度調查之樣區資料附於表 6：

表 6 98 年度計畫樣區調查結果

編號	樹種	造林年度	平均胸徑 (cm)	平均樹高 (m)	平均冠幅 (m)	林分覆蓋度 (%)	栽植株數	栽植密度 (株/ha)	成活株數	成活率 (%)	分叉率 (%)	林分材積 (m ³ /ha)	總平均生長量 (m ³ *ha ⁻¹ *y ⁻¹)
A13		93	3.22	3.10	1.50	13.14	60	1500	26	43.33	26.92	1.16	0.23
A12		93	3.27	3.11	1.63	25.03	61	1525	44	72.13	9.09	1.76	0.35
A03		93	6.26	3.22	2.97	24.84	65	1625	14	21.54	0.00	1.83	0.37
A02		92	3.78	3.57	2.13	37.26	84	2100	40	47.62	37.50	3.04	0.51
A01		92	3.47	3.90	2.11	41.69	84	2100	45	53.57	33.33	3.42	0.57
A05		92	4.73	3.85	1.97	37.18	54	1350	46	85.19	0.00	4.27	0.71
A04	檫樹	93	6.15	3.85	2.85	32.90	81	2025	20	24.69	15.00	4.85	0.97
A07		92	6.81	4.15	2.37	53.56	50	1250	42	84.00	11.90	8.49	1.42
A08		91	6.01	4.70	2.15	47.36	59	1475	52	88.14	7.69	10.29	1.47
A09		91	6.49	4.73	2.06	45.76	55	1375	51	92.73	7.84	10.54	1.51
A06		92	6.97	6.12	2.87	60.78	65	1625	38	58.46	7.89	11.96	1.99
A10		92	6.02	6.25	2.69	81.87	72	1800	53	73.61	33.96	18.75	3.13
A11		92	8.36	6.49	3.44	82.75	59	1475	34	57.63	11.76	18.96	3.16
B06		92	3.22	2.36	1.62	16.91	67	1675	29	43.28	20.69	0.97	0.16
B04		93	7.05	4.30	2.56	28.63	67	1675	20	29.85	0.00	5.18	1.04
B02		92	5.41	3.94	2.28	46.00	70	1750	43	61.43	4.65	5.89	0.98
B03		92	5.24	4.73	2.46	54.92	74	1850	45	60.81	11.11	7.94	1.32
B12		93	4.88	5.78	2.44	61.55	56	1400	51	91.07	21.57	9.17	1.83
B01		92	6.28	5.70	2.68	69.67	51	1275	49	96.08	12.24	12.85	2.14
B05	光臘樹	93	6.96	5.55	2.72	62.96	98	2450	42	42.86	28.57	18.56	3.71
B10		92	6.57	8.16	2.48	73.21	61	1525	59	96.72	0.00	20.81	3.47
B09		92	7.28	5.38	2.41	59.34	75	1875	51	68.00	13.73	21.87	3.65
B11		92	6.41	9.50	2.48	70.41	53	1325	58	100.00	3.45	24.88	4.15
B07		92	7.19	6.75	2.42	67.02	48	1200	59	100.00	15.25	25.48	4.25
B08		92	6.73	5.24	2.62	66.28	68	1700	51	75.00	17.65	25.50	4.25
B13		92	8.46	7.12	2.43	66.31	57	1425	55	96.49	18.18	37.89	6.32

98 年度調查之樣區覆蓋率測量原則為重疊之樹冠並不測量，若是有兩棵林木之樹冠重疊則冠幅僅取至中心線，因此林分覆蓋度僅為投影至地上 2D 平面之面積，與單株冠幅或林分之樹冠層數無關。由圖 3 之光譜資訊與林分覆蓋度之指數模型可看出二者有高度正比相關，而事實上紅光波段反射值與植生指數的確常被用做為綠度 (greenness) 指標使用，紅光波段反射值越低或植生指數越高代表地被植物之豐度及覆蓋度越高 (Hoffer, 1978)。接著，由樣區資料發現林分覆蓋度與成活率之間的二次多項式模型也有高相關性 (圖 5)，同樣和光譜與成活率之趨勢出現勾狀，茲將左下兩個資料點分別為 B04 與 B06 提出來討論。

B04 與 B06 兩者栽植密度相同，成活率分別為 29.85 % 與 43.28 %，前者成活株數為 20、後者為 29 株，但是 B04 之林分覆蓋度 28.63 % 卻大於 B06 之 16.91 %，平均胸徑、樹高、冠幅等是 B06 之 1.5 - 2 倍不等，材積更是高達 5 倍多；另外在分叉率部分，B04 之林木沒有分叉情形，B06 則有 20.7 % 的林木出現分叉，可見 B04 成活林木生長普遍比 B06 好。

從以上兩段討論中可以歸納出 2 項問題，一是原先採取之林分覆蓋度之測量方法是否適用於本研究計畫使用。首先林木冠幅不一定足夠代表覆蓋率多寡，因為樹冠生長不一定是鬱閉的，有可能葉片稀疏但枝條伸展幅度廣，就會出現林分覆蓋度高卻低植生指數，因此若能使用魚眼鏡頭照相技術測定覆蓋率將會是較佳的測量方法；另外光譜值反映的林分覆蓋度會與林分冠層結構有更高的相關性，如葉面與葉肉細胞層數越多則近紅外光被反射越多 (Myers, 1970)，而能夠反應葉面積層數的指數為葉面積指數 (Leaf Area Index, LAI) (鄭祈全、邱祈榮、陳燕章, 1997)，如能測定林地之 LAI 並將其作為林分參數之一以建立成活率估算模式，預期可以提升模式估算之準確度。第二，由 B04 與 B06 二樣區之調查資料可以發現雖然栽植密度相同，但是成活率及生長狀況卻有相當大的差異，可見立地條件的不同對此二樣區有頗大的影響，故若能利用立地條件的不同將林分加以分級，各別討論在不同級別立地條件下的光譜與林分參數關係，即能夠大幅提升模式之準確度。

利用光臘樹 R^2 值最佳之模式推估光復鄉全區造林地之各項林分參數，其像元 (pixel) 空間分布圖如圖 6 所示。

光臘樹 (樹冠覆蓋率vs成活率)

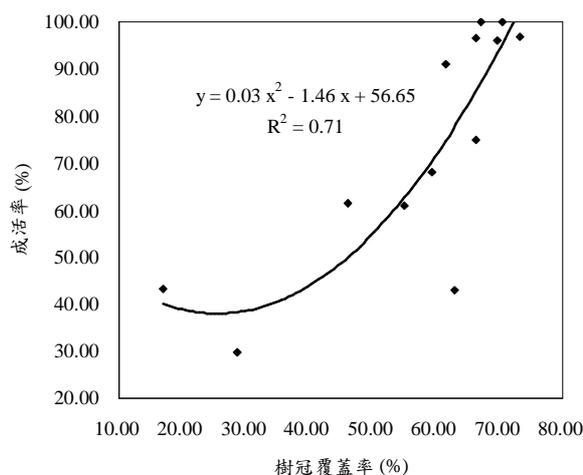


圖 5 林分覆蓋度與成活率之二次多項式迴歸

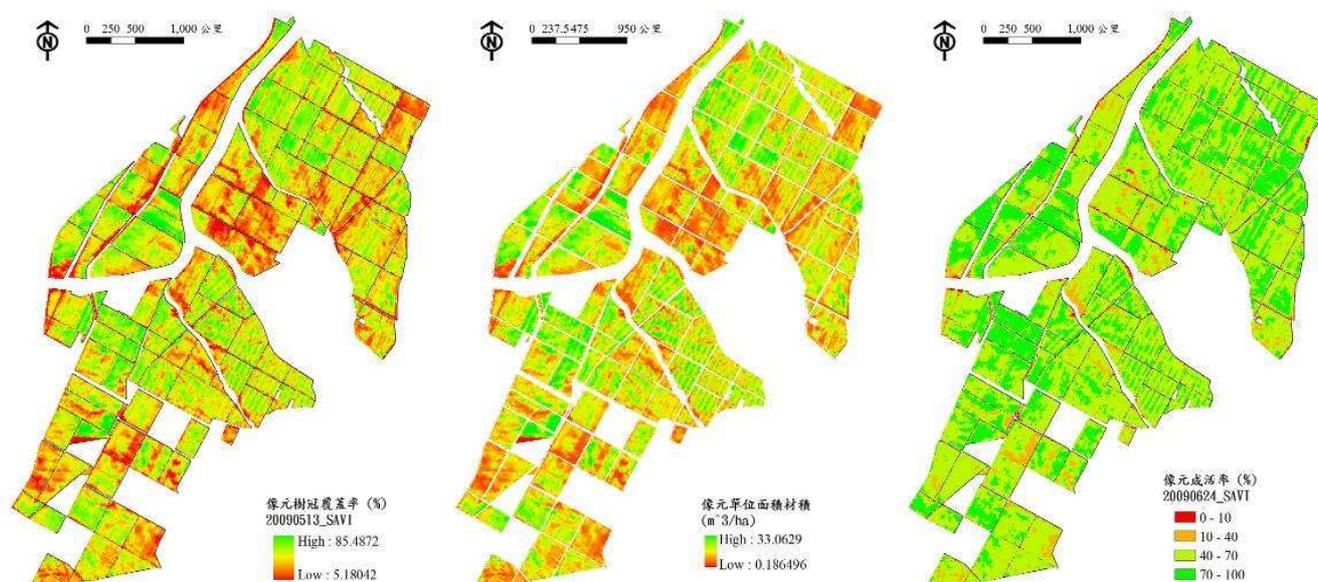


圖 6 林分覆蓋度、林分材積、成活率之像元空間分布圖

依照各模式將全區的林分參數各別計算出來之結果為表 7。「光臘樹樣區」係以 98 年度設置於光臘樹純林之樣區調查結果推估全區，「混合樣區」則為 98 年度檫樹與光臘樹二樹種樣區之平均數作為參數推估全區。使用混合樣區的用意是為更貼近全區造林地之平均生長狀況，因光臘樹之材積等林分參數普遍比檫樹來得高，若僅以光臘樹樣區數據推估全區並不適當。全區之造林範圍圖層因包含道路邊緣及空缺造林地等，故光譜值推估全區成活率結果小於樣區值應合理。

表 7 各模式估算結果與樣區估算結果比較

		林分覆蓋度 (%)	總材積 (m ³)	總碳量 (ton)	成活率 (%)
光臘樹樣區*		57.17 ±9.25	16214.00 ±5627.95	7213.37 ±3127.80	73.97 ±13.49
混合樣區*		51.05 ±8.05	11818.05 ±3670.42	5257.68 ±1861.55	67.86 ±9.30
R		48.61	13931.17	6197.77	56.74
2009/5/13	NDVI	46.93	9321.11	4146.82	52.25
	SAVI	46.38	9522.23	4236.30	51.13
R		50.35	14143.11	6292.06	57.41
2009/6/24	NDVI	46.42	9591.66	4267.19	49.41
	SAVI	45.19	9842.17	4378.63	50.02

*樣區推估值皆附上 95 % 信賴區間值

根據上述林分材積像元空間分布圖至造林地現地勘查，使用 GPS 定位系統輔助，前往材積特別高、特別低之造林地進行拍照攝影，接著進行內業利用地理資訊系統 (GIS) 技術將照相點位與林分材積像元空間分布圖套疊，連結照片檔與模式推估之結果，其展現之情形如下圖 7，可見模式推估結果與現地林木生長趨勢狀況符合。

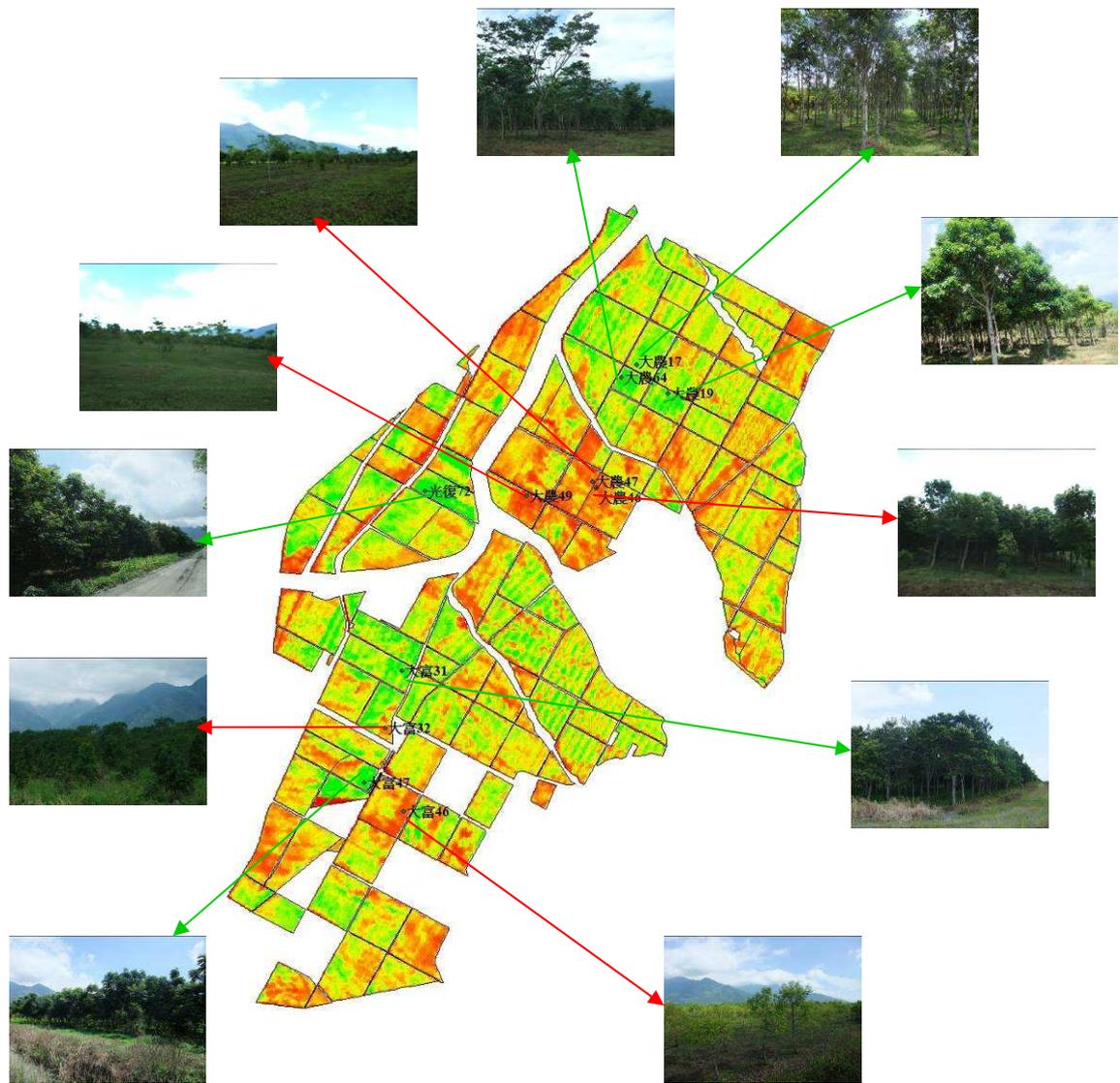


圖 7 現地林木生長狀況照片與林分材積像元空間分布圖之連結

紅色線連結生長差之林分，綠色線連結生長佳之林分

參、 工作成果

一、 1 公頃樣區

(一) 1 公頃樣區設置定義

為了發展混合樹種模式以符合大多數平地造林混植之狀況，並與 98 年度建立之檫樹與光臘樹純林模式作比較，本年度計畫特別規劃 1 公頃樣區進行調查。其原則為在 1 公頃樣區範圍內應含有檫樹與光臘樹以及第三樹種之純林分，並有一部分林分為混合樹種，圖 8 為示意圖。同時，須確認規劃之 1 公頃樣區是否落於均質區之外(圖 9)，以免該樣區無法代表多數混合生長的造林地，期能以此樣區建構適用於廣泛造林地之林分參數模式。

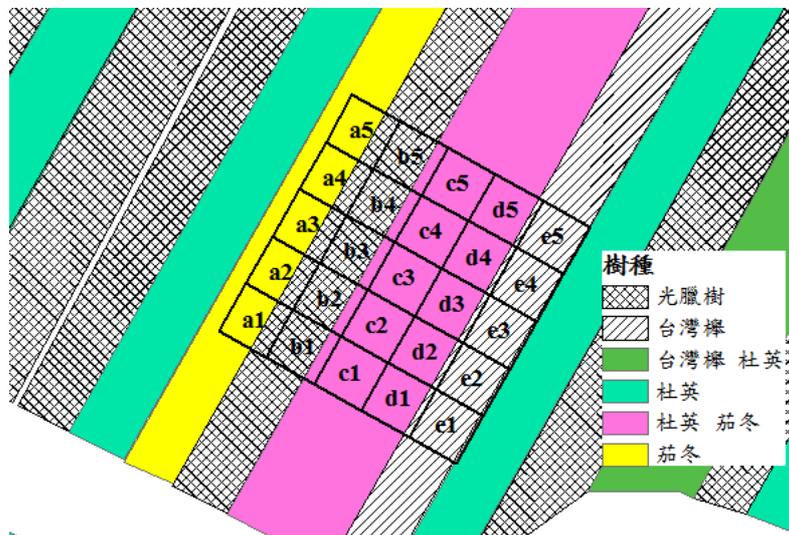


圖 8 1 公頃樣區樹種分布與次樣區編號

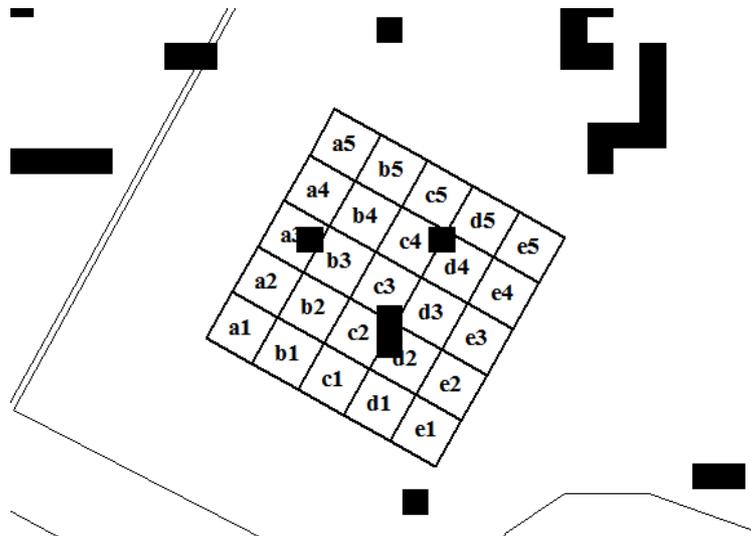


圖 9 1 公頃樣區與均質區套疊圖。黑色區域為均質林分

因應 SPOT-5 衛星影像之空間解析度為 10 m，1 公頃樣區內之次樣區遂規劃為 20 m × 20 m，俾能避免次樣區與像元範圍不一而無法萃取光譜值之情形。故 1 公頃樣區內之次樣區共有 25 個，其編碼排列方式如上圖 9。

(二) 1 公頃樣區設置方法

樣區依照樹木栽植方向設置，首先將 1 公頃樣區範圍之一角定位，以鐵樁釘入土並將尼龍繩穿過上方鐵圈，接著以羅盤儀測量、控制 1 公頃樣區之界線是否鉛直，並於每 20 m 處釘 1 鐵樁，直到將四邊界線設置完成。再利用塑膠繩將 1 公頃樣區內之 25 個次樣區界定出來，圍出面積 20 m × 20 m 的範圍，最後於 1 公頃樣區界線明顯處掛上寫有樣區編號之標誌牌，即完成樣區之設置。

(三) 次樣區調查

次樣區設置後，調查的項目分為每木調查與現地狀況調查 2 項，記錄表格如表 8 所示。

表 8 每木調查紀錄表

編號	樹種	胸徑(cm)	樹高(m)	冠幅一	冠幅二	平均冠幅	備註
01							
02							
03							
04							

表 9 樣區現地狀況調查及四角位置定位紀錄表

小區編號：_____ 樣區編號：_____ 調查日期：_____	
樹種：_____ 樹種面積：_____	
主要地被：_____ 次要地被：_____ 地被高：_____	
西北 X：_____ Y：_____	東北 X：_____ Y：_____
西南 X：_____ Y：_____	東南 X：_____ Y：_____

樣區內每株樣區皆有編號並掛牌。每木調查的項目包括：樹種、胸徑、樹高、長與短邊冠幅等，備註欄位紀錄是否為枯立木、萌櫟、合生等，若遇萌櫟之分枝，且其樹高大於 2 米，則將其另行編號進行調查。樹冠測定法為隨機選取一個方向的直徑，再測定其成直角方向的第二直徑（楊榮啟、林文亮，2003），98 年度計畫測

量冠幅時僅測量至重疊處之中心線，且量測不超過樣區界線，今年度則量測全幅，因此後續計算之林分冠幅覆蓋率有可能超過 100 %。

現地狀況調查的項目包括：主要地被物、次要地被物與地被植物高，以及栽植行距、株距，樣區照片編號，以及樣區四角點位座標等。

現場樣區調查後，將資料輸入電腦，計算各林分參數如平均樹高、平均胸徑、林分覆蓋度、栽植株數、原始栽植密度（栽植株數/ha）、成活株數、林分密度（成活株數/ha）、成活率、分叉率、林分材積（ m^3/ha ）、總平均生長量（ $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{y}^{-1}$ ）、林分蓄積量（ m^3 ）等。

林分覆蓋率計算方法為：假設樹冠投影形狀為橢圓形，將長與短邊冠幅資料代入橢圓形面積公式，計算出樣區內成活木之樹冠面積，加總後除以樣區面積 0.04 公頃，轉換為百分比後即為林分覆蓋率。

原始栽植株數之計算方法為：將樣區邊長 20 m 除以樣區內林木栽植的行距與株距，可得樣區內 1 行與 1 列應栽植之林木數量，相乘後即可得樣區內應栽植之林木數量。成活株數之計算方法為：

- a 將樣區調查野帳紀錄之林木刪去合生之分枝林木資料，留下主幹資料並計算總量，即可得成活株數。
- b 將成活株數除以前述計算出的原始栽植株數後即可得成活率。

分叉率的計算要先定義出分叉的樹所指為何，本研究所指分叉樹係指在 1.3 公尺樹高以下有分叉，且分叉之枝幹高超過 2 公尺。一般而言，林木若有分叉的話，大約分叉 2-5 枝（含主幹）。分叉率是有分叉的林木株數除以樣區內所有成活株數。

參考林務局（1997）之材積計算方法，採用一般樹種（形數 0.45）連皮立木材積求積式如下：

$$\text{材積} = (\text{DBH})^2 \times 0.79 \times H \times 0.45$$

式中

DBH：胸高直徑（m）

H：樹高（m）

將樣區內所有林木的材積加總後除以樣區面積 0.04 公頃，即可得樣區之林分材積（ m^3/ha ）。

(四) 應用半球面影像計算林分鬱閉度

Jennings *et al.* (Jennings, Brown, & Sheil, 1999) 依量測目標不同，定義二種主要區別：樹冠覆蓋度 (canopy cover) 及樹冠鬱閉度 (canopy closure)。樹冠覆蓋度，係指以各垂直角度量測樹冠之覆蓋面積、或樹冠投影面積稱為樹冠覆蓋度，此為本研究中以冠幅面積計算之林分覆蓋度基礎概念，惟本研究為求了解單木生長表現，故於量測時取其冠幅全長之測值，後續求算林分覆蓋度時是以全幅冠長計算單木樹冠橢圓面積後將次樣區內所有單木樹冠面積加總而得，故林分覆蓋度會有大於 100% 之情況，乃因林木之間已有出現樹冠重疊之現象所致，為避免與 Jennings 之定義混淆，特將其翻譯為樹冠覆蓋度以和本研究使用之林分覆蓋度做為區別。樹冠鬱閉度則是以林分中單點向上延伸之半球面面積被林份遮蔽的比例 (圖 10)，則為此報告中之林分鬱閉度。此兩種量測方式在過去的討論中經常被誤用或混用，並容易產生理解上之差異。此外，進行兩種測量時，樹冠鬱閉度會因樹高改變而受到影響，樹冠覆蓋度則不受影響 (圖 11)。除了在定義上的不同，兩者在生態上的意義也不相同，樹冠覆蓋度與穿落水 (throughfall) 及林木間競爭程度關聯較大，而樹冠鬱閉度則和林下的光環境、不同時間下斑光的情況有關。

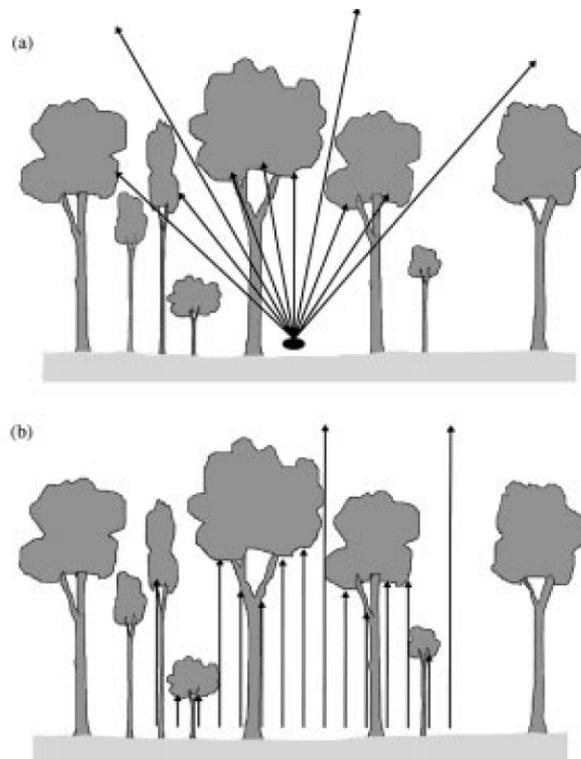


圖 10 (a)樹冠鬱閉度與(b)樹冠覆蓋度示意圖(Jennings, et al., 1999)

半球面影像的發展肇因於近年來數位影像的快速進步，以及電腦影像分析技術

的快速發展 (Lin & Chiang, 2002)。相較於過去以人力方式分析影像，利用電腦軟體分析是省時又省力且有客觀依據的做法，也因此利用半球面影像來估算林份下光照以及 LAI 的研究日益增加。另外半球面影像可以為當時的林分狀態留下永久紀錄，對於干擾後林相的恢復、苗木生長、森林生產力及生理生態的研究也得以發展的更加完備。

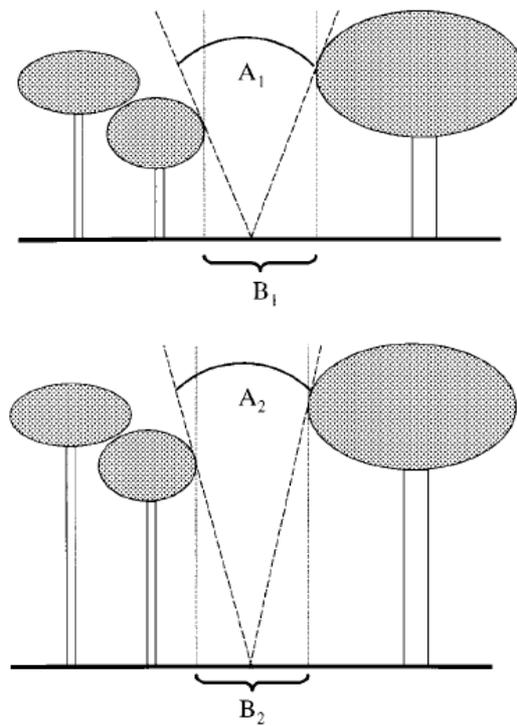


圖 11 同樣角度下樹冠孔隙度受樹高影響情形(Jennings, et al., 1999)

半球面影像係以 180 度的超廣角（魚眼）鏡頭所拍攝而得的影像，在確定拍攝方位後，只要加入海拔、經緯度等因子，便可以推算出太陽之移動軌跡、藉由林分內空隙的分佈及角度，即可得知太陽輻射的變化方式以及強度。另外藉由樹冠下不同高度的半球面影像，亦可以用來評估林份內的垂直光照變化以及樹冠結構的組成。

要拍攝半球面影像需要可以拍攝 180 度的超廣角（魚眼）鏡頭，以及具有魚眼模式的相機才能取得全視野影像（圖 12）。拍攝時需注意以下要點：

- 拍攝方位一致：由於需要分析光的來源與移動，在配合太陽軌跡時需確定方位。
- 相機架設水平：可使用自動水平腳架或外加水準器以輔助調整，避免因角度不同、拍攝到的範圍不同而產生的誤差。
- 天空背景：背景以晴天或均值的陰天為佳，若有雲層則在調整臨界值時容易發

生要將臨界值降低（增加亮度）以區分出天空的狀況，可能會將接近地平線之較暗孔隙視為枝葉導致計算誤差；但若陽光過強則會造成斑光（圖 12 左），因此拍攝魚眼照片時以天氣晴朗的黎明或黃昏為佳。

- d. 光照情況：在使用影像分析軟體時，軟體一般只能利用輻射強度的強弱來分別是否為植物體，因此拍攝影像時不能有直射葉片之陽光，以免造成程式誤將葉片判定為天空。另外就算是雲層均質的陰天，為避免些微光斑照成的影響，還是以黎明或黃昏為佳。



圖 12 半球面影像。左：斑光情形。中：正確半球面影像。右：軟體處理後之影像。

本研究使用 Nikon Coolpix 990 相機搭配 EC-F8 魚眼鏡頭進行半球面影像攝影(如圖 13)。攝影點分布如圖 14 所示，在 20 m × 20 m 的次樣區中平均分布 5 個攝影點，並以此 5 張影像分析結果之平均值作為該樣區之林分覆蓋度。



圖 13 半球面攝影使用器材。

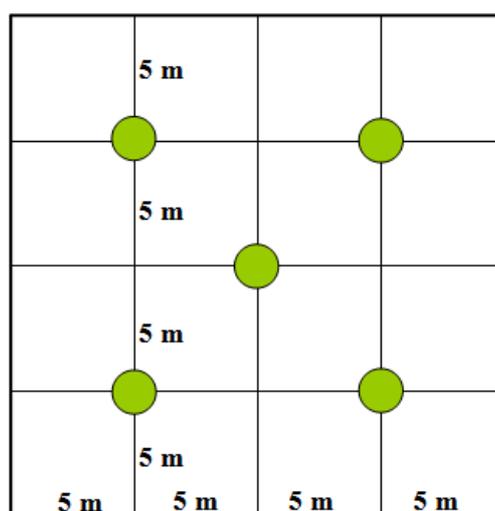


圖 14 次樣區中魚眼拍攝點分布圖

半球面影像處理係應用 GLA 軟體(Frazer, Canham, & Lertzman, 1999), 流程如下:

界定出影像之南北向及範圍

- a. 調整濾鏡顏色, 一般以藍光光譜較適合用於植物分析
- b. 調整臨界值(亮度)
- c. 計算開闊度

半球面影像之缺點:

- a. 半球面影像在取得的過程中會受到環境因子的限制而無法得到較佳品質的影像、必須透過長時間的等候以取得受環境影響較少的影像。
- b. 人為進行臨界值調整時, 由於臨界值高低為操作者主觀認定, 操作者之穩定性必須納入考量。
- c. 分析軟體的分析方式以及模式是否適合所有生態區系、或是枝條與樹葉之間分別的方式也是誤差產生的來源。

(五) 1 公頃樣區調查結果

其結果如表 10。

表 10 公頃次樣區調查資料表

樣區	樹種	立木年	平均樹高 (m)	平均胸徑 (cm)	平均冠幅 (m)	原始栽植密度 (應有株數/ha)	存活株數	林分密度 (存活株數/ha)	成活率 (%)	林分覆蓋度 (%)	林分鬱閉度 (%)	林分材積 (m ³ /ha)	總平均生長量 (m ³ *ha ⁻¹ *y ⁻¹)
a1	光臘樹，茄苳	91	3.77	4.54	2.26	1125	11	275	24.44	12.41	28.66	1.35	0.17
a2	茄苳，光臘樹	91	4.02	7.45	3.07	1125	29	725	64.44	56.49	52.60	2.26	0.28
a3	茄苳，臘樹	91	5.00	11.45	4.02	1175	33	825	70.21	107.01	69.41	20.05	2.51
a4	茄苳，光臘樹	91	9.54	6.98	5.46	1175	38	950	80.85	109.72	71.19	24.24	3.03
a5	茄苳，光臘樹	91	9.95	6.84	4.42	1400	33	825	58.93	165.87	72.41	30.75	3.84
b1	光臘樹	91	4.40	4.47	2.74	1350	40	1000	74.07	61.63	47.84	7.39	0.92
b2	光臘樹，杜英	91	5.73	7.05	3.23	1350	44	1100	81.48	93.53	58.99	20.34	2.54
b3	光臘樹	91	7.95	6.82	3.57	1350	50	1250	92.59	130.58	68.61	49.02	6.13
b4	光臘樹，杜英	91	9.60	8.89	4.23	1500	59	1475	98.33	249.83	69.94	58.19	7.27
b5	光臘樹，杜英	91	8.60	9.14	4.04	1425	53	1325	92.98	235.52	77.79	58.57	7.32
c1	杜英，光臘樹	91	7.22	10.71	3.29	1350	28	700	51.85	62.76	54.79	27.98	3.50
c2	杜英	91	7.00	13.02	2.97	1375	52	1300	94.55	92.22	70.51	63.51	7.94
c3	杜英	91	12.67	8.13	3.81	1400	58	1450	98.21	193.06	78.27	103.47	12.93
c4	杜英	91	13.81	9.67	3.99	1450	51	1275	100.00	184.87	81.75	105.85	13.23
c5	杜英，光臘樹	91	11.48	9.08	3.94	1475	28	700	86.44	175.70	82.07	70.71	8.84
d1	杜英	91	7.48	10.32	3.42	1175	28	700	59.57	67.42	56.08	26.74	3.34
d2	杜英	91	8.41	13.47	3.60	1775	46	1150	64.79	120.05	72.19	74.43	9.30
d3	杜英	91	13.60	9.23	4.36	1450	36	900	62.07	147.62	81.08	71.20	8.90
d4	杜英	91	12.99	8.34	4.33	1425	39	975	68.42	167.81	84.49	68.64	8.58
d5	光臘樹	91	12.84	9.01	3.65	1675	37	925	55.22	111.28	82.98	63.96	7.99
e1	欖木	91	4.02	5.94	3.34	1525	57	1425	93.44	132.41	57.78	11.72	1.46
e2	欖木	91	5.37	6.96	3.66	1500	58	1450	96.67	154.15	61.46	18.28	2.28
e3	欖木	91	6.99	4.70	3.58	1575	56	1400	88.89	155.01	69.76	15.24	1.90
e4	欖木	91	7.40	6.33	3.60	1425	56	1400	98.25	172.96	76.65	26.58	3.32
e5	欖木	91	7.49	6.72	4.25	1675	56	1400	83.58	215.31	78.97	22.82	2.85

二、 立地條件

(一) 依據林分生長狀況進行土壤條件調查

根據 98 年度所設置之樣區調查結果發現本區檫樹與光臘樹於栽植時，原始栽植密度可能因地形或作業需要，原始栽植密度從 1200 至 2450 不等，在空間分布上並不均勻。另外，因此種原始栽植密度不均質的情形，某種程度也影響其林木成活率的高低，目前雖然尚無非常明顯的關連，但仍值得未來持續加以監測。此外，調查結果也發現，林木生長在生長過程中，檫樹每 7 株有 1 株分叉，光臘樹約每 8 株有 1 株分叉，顯示分叉情形有偏高的現象，亦是值得未來撫育與監測作業關切的課題。

98 年度林分覆蓋度調查結果顯示，兩種樹種林分林分覆蓋度均僅有 45 與 57 % 左右，均尚未鬱閉。由於林分鬱閉的前後對於林地微氣候的影響有明顯的差異，尤其是對於對地表植物的生長與土壤濕度的影響更是明顯，而這些都會直接或間接影響林地的光譜反射特性，因此有必要持續監測其鬱閉的時期，及其對於林地植被、土壤濕度與林地光譜反射的影響。

林木生長的調查顯示，不同樣區的林木生長差異非常的大，顯示立地的條件嚴重影響到林木的生長，所以應可針對立地條件進行研究，以掌握影響立地條件的重要因子，例如土壤性質、土壤養分、地勢低窪淹水或其他因素，方便我們研擬適當的改善措施，以改善立地條件，提高林木的生長。

1. 土壤採集樣塊規劃

以現場造林地初步勘查結果認為土壤條件是主要影響光復鄉造林地立地條件的因素之一，因此先選擇土壤分析作為立地條件分級的第一步。為使土壤組成對立地條件影響效果明確且獨立，選擇土壤採集樣塊時應盡量排除微氣候差異大的林地，故根據先前所繪製之林分材積像元空間分布圖，選取位於同一塊造林地內卻生長差異大之林分作為一組土壤採集樣塊，於其中生長好與壞之林分選擇採樣區。並同時選取三組土壤採樣區以使統計結果具有可性度，且三組土壤樣塊皆為光臘樹純林分。選取之土壤樣塊與林分生長狀況如圖 15 所示。比較樣塊整體生長狀況，在生長好林分之部分樣塊 1 與 3 普遍生長較樣塊 2 為佳；生長壞林分之部分則為樣塊 2 生長最佳，次為樣塊 3，最差者為樣塊 1。

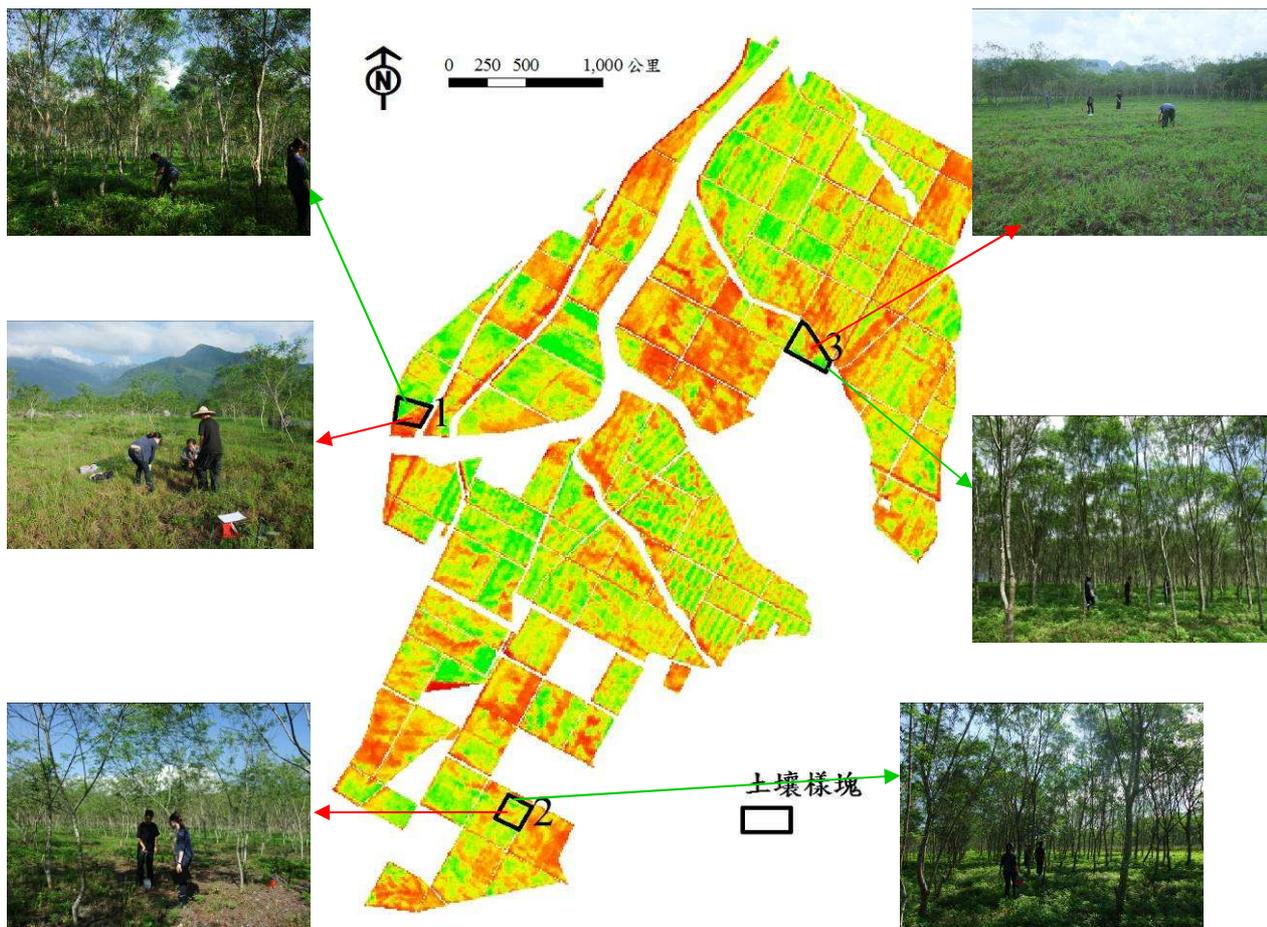


圖 15 土壤採集樣塊區域，紅色為生長差林分，綠色為生長佳林分

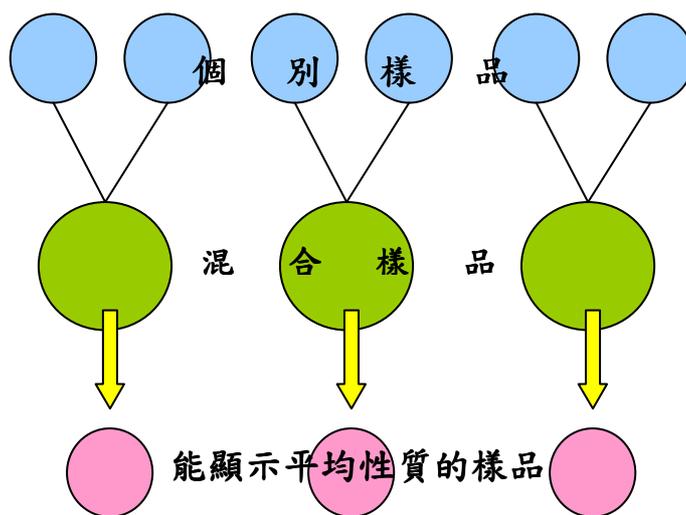


圖 16 土壤採樣流程圖

2. 土壤採樣流程

本次實驗採用「混合採樣 (Composite Sampling, CS) 法」進行採樣，混合採樣係將數個均質樣品或者次樣品，藉由物理上之混合使之形成一個新的樣品 (此即所謂的混樣) (如圖 16)，後再取其適量進行相關的化學或生物成份分析。由於混樣代表將數個樣品及其分析數據之平均值，因此可減少分析量，故 CS 的做法能實質上降低包括採集、處理及分析等費用 (環保署，2005)。採樣流程步驟如下：

- a. 選定樣區後，在各植株之中心採集土樣。同樣區之兩相鄰樣點間距 2-5 m。
- b. 將地表之地被草本植物與表層腐植質清除。
- c. 光臘樹係屬深根性植物，採樣深度為 40 cm 以上。
- d. 於 40 cm 處採集土樣，同區兩個樣本以重量 1：1 混合。

注意事項：

由於此處原為農業用地，造林時可能移入些許客土、碎石用以造床提高排水性，故此區土壤含石率約在 50 % 左右，採樣時較為費力，表面植生之根系與腐植質也需清除，避免影響結果。

3. 土壤質地分析試驗

以比重計法測定，測定時秤取 40 g 風乾土，加入 250 mL 蒸餾水及 100 mL 六偏磷酸鈉溶液 (HMP) (50g/L)。攪拌器攪拌 5 分鐘，倒入 1000 mL 沈降筒中，加蒸餾水至 1000 L。以攪拌棒攪拌均勻後，放入比重計，量取 40 秒時的讀數。靜置 7 小時，量取比重計讀數。一下式換算出土壤砂粒 (sand)、粉粒 (silt)、黏粒 (clay) 比例。

$$\text{Sand}\% = 100 - (R_{40s} - R_L) \times 100 / 40$$

$$\text{Clay}\% = (R_{7h} - R_L) \times 100 / 40$$

$$\text{Silt}\% = 100 - (\text{Sand}\% + \text{Clay}\%)$$

$$R_{40s}、R_{7h} = (1000x - 1000) \times 2.65 / 1.65$$

$$R_L = (1000x - 1000) \times 2.65 / 1.65$$

所得比例依美國農業部 (USDA) 土壤質地分類標準分類。

4. 土壤樣本分析結果

阿拉伯數字相同者表示為同一樣塊之土壤，G 為生長狀況好的林分，B 為生長狀況差的林分，風乾後土樣之照片如圖 17，初步分析結果如表 11。



圖 17 土樣照片。由左而右分別為 G1、B1、G2、B2、G3、B3

表 11 土壤樣本初步分析結果

土樣編號	C	H	N	Sand %	Clay %	Silt %	土壤質地
G1	0.0071	0.0036	0.0008	45.80	8.03	46.17	壤土
B1	0.0043	0.0018	0.0003	77.92	2.01	20.08	壤質砂土
G2	0.0055	0.0024	0.0006	59.85	6.02	34.13	砂質壤土
B2	0.0030	0.0021	0.0004	65.87	4.02	30.11	砂質壤土
G3	0.0160	0.0055	0.0013	41.78	14.05	44.17	壤土
B3	0.0033	0.0028	0.0005	63.86	6.02	30.11	砂質壤土

由圖 16 之土壤樣本照片中可明顯看出林分生長好壞之土壤顏色有明顯差別。表 7 中，Sand %、Silt % 與 Clay % 是土壤中砂粒、粉粒與黏粒的比例；C、H 與 N 則為碳、氫與氮元素在 1 g 土壤中占有幾 g 重量。由土壤質地可看出林分生壤之砂質土壤含量皆較多，尤以材積最低之樣區 B1 之砂質含量最多。以 C 含量來看，因樣區 G1 之地被物覆蓋最多、腐植質也多，故 C 含量比之其他樣區為多，B1、B2 與 B3 地表僅有少數草本植物覆蓋，故 C 含量偏低。以 N 含量來看，生長好的林分樣區含量皆高於生長差的林分樣區，表示 G 組土壤提供足夠的 N 養分給林木生長所需，故生長情形較佳。

(二) 依據林分參數進行立地級分類

上述判定林分生長好壞與否之依據為林分材積，但林分生長差異原因複雜，由下面林分材積與各林分參數關係圖（圖 18）可知在相同林分材積的狀況下，其林分參數變動範圍大，故單以林分材積作為立地級分類標準會忽略實際林分生長狀況的細節。本研究嘗試以不同林分參數作為分類變數，對 1 公頃樣區中的 25 個次樣區進行立地級分類，第一種分類依據為林木生長因子：平均胸徑與平均樹高，分為三級；第二種分類則以林分密度與成活率作為因子，分為二級，本報告中將上述二種分類方法分別稱為生長表現（Growth Performance）與立木數量（Tree Amount）。本研究使用各種分群統計方法，從其中選擇較佳迴歸結果之分群，生長表現使用降趨對應分析法（Detrended Correspondence Analysis, DCA），立木數量則選用 K 平均法分類，分類結果散佈圖如圖 19 所示。

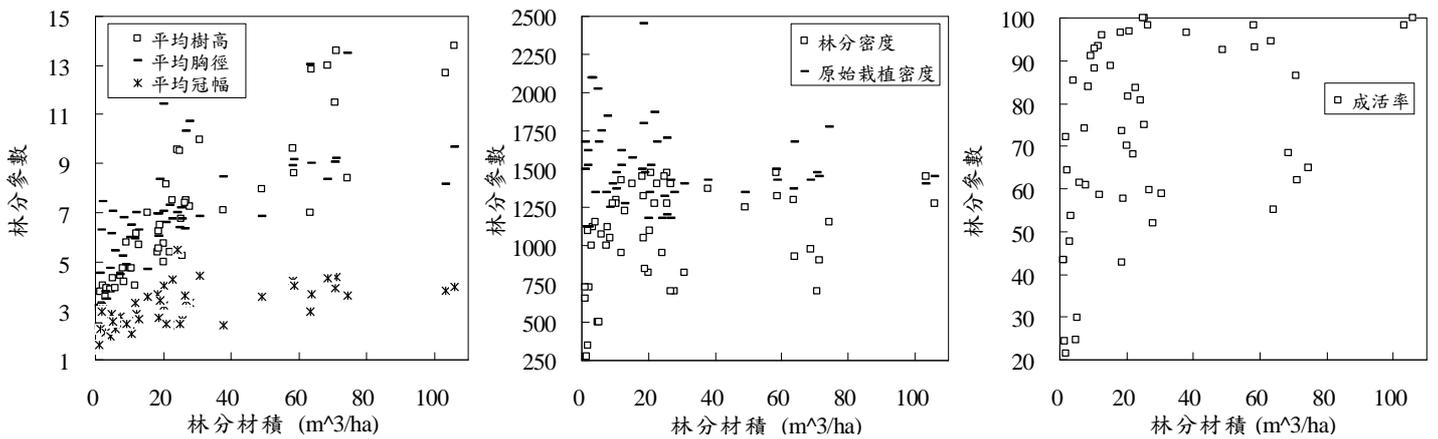


圖 18 林分材積與各林分參數之間的關係

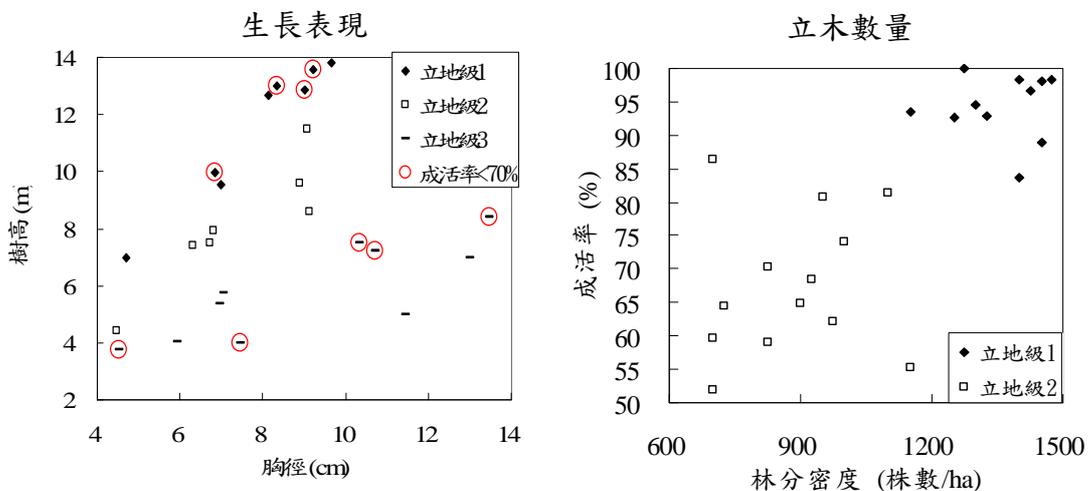


圖 19 二種立地級分類結果散佈圖

(三) 依據立地級分類進行土壤調查

建立上述的立地級分類之後，標示出每個次樣區而立地級分屬（如圖 20），至現場進行土壤採樣工作，其採樣步驟與（一）依據林分生長狀況進行土壤條件調查之作業流程相同，惟本次土壤採集深度分為三層，從地表向下分為 0-10 cm、10-20 cm、20-40 cm 三層。建立立地分級級土壤採樣流程之本意為方便日後現場勘查檢測人員能夠當場判斷林分之立地級分屬並套用適當估測模型，故本研究先行分析地表易採樣 0-10 cm 深度之土壤，其他二層土樣則在預處理（風乾、研磨）後封罐儲存起來備用，以便後續需要深入研究分析時使用。圖 21 為次樣區之各項林分參數空間分布圖，生長表現立地級分布圖與平均樹高空間分布圖較為接近，立木數量立地級分布圖則明顯與成活株數、成活率空間分布圖相去不遠。二種立地級分類的各級別平均林分參數及土壤性狀整理於表 12 中。

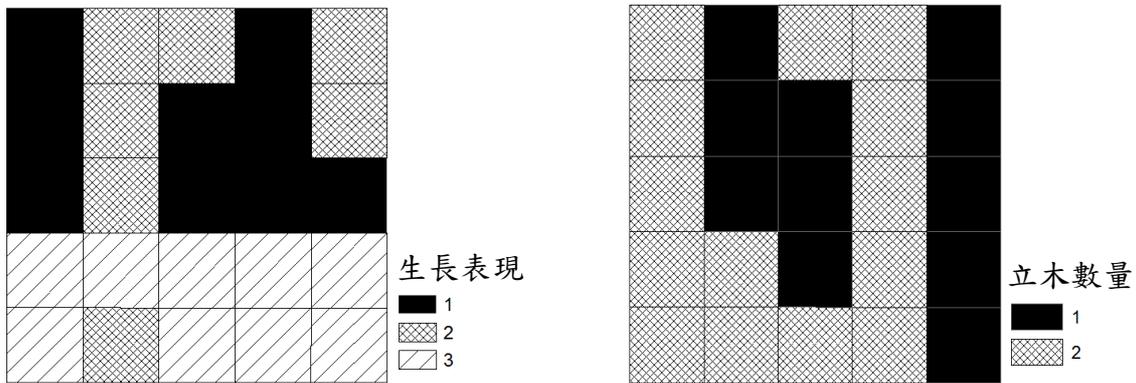


圖 20 二種立地級分類次樣區分布圖

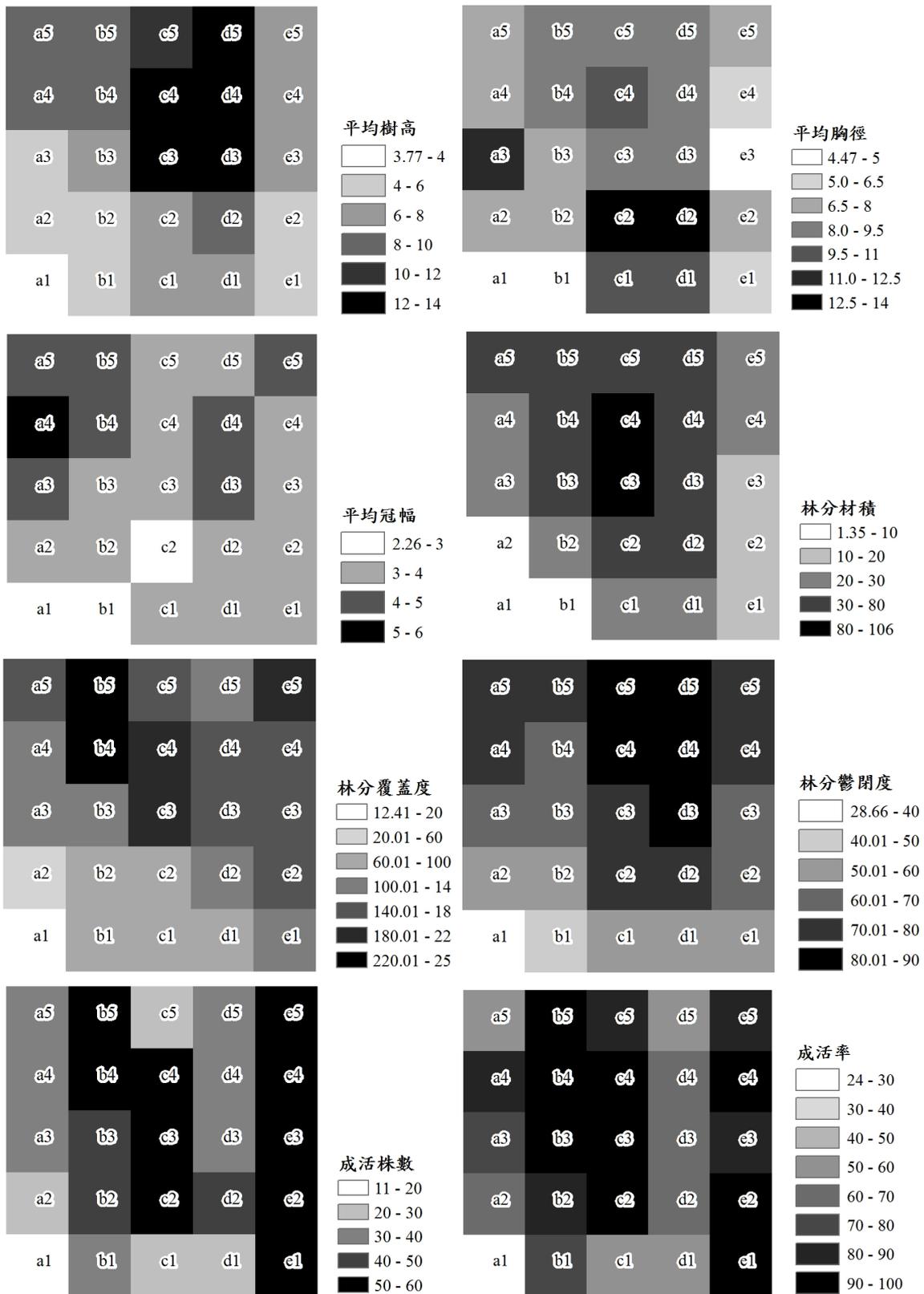


圖 21 次樣區林分參數空間分布圖

表 12 各立地級平均林分參數與土壤性狀

立地分類		生長表現			立木數量	
立地級		1	2	3	1	2
林分參數	平均胸徑 (cm)	7.86	7.35	9.09	7.85	8.49
	平均樹高 (m)	11.55	8.13	5.80	8.26	8.32
	平均冠幅 (m)	4.20	3.77	3.29	3.73	3.70
	林分覆蓋度 (%)	154.40	177.36	89.84	174.17	104.23
	林分鬱閉度 (%)	77.74	71.70	58.25	71.95	65.34
	林分材積 (m ³ /ha)	60.42	41.90	26.66	48.47	36.43
	原始栽植密度 (株數/ha)	1443.75	1457.14	1347.50	1472.73	1358.93
	林分密度 (株數/ha)	1087.50	1221.43	965.00	1377.27	839.29
	成活率 (%)	76.57	89.46	70.15	94.32	64.49
土壤性狀	C (%)	0.77	0.63	0.72	0.70	0.70
	H (%)	0.42	0.34	0.35	0.36	0.36
	N (%)	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09
	Sand (%)	51.82	71.89	70.55	63.86	68.68
	Clay (%)	16.06	10.04	9.37	12.05	10.44
	Silt (%)	32.12	18.07	20.08	24.09	20.88
	USDA 土壤質地分類	壤土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土

*生長表現：以平均樹高與平均胸徑為因子進行 DCA 分群。

*立木數量：以林分密度與成活率為因子進行 K 平均法分群。

*USDA 土壤質地分類：依美國農業部 (USDA) 土壤質地分類標準分類。

由表 12 可以看出生長表現分類大致以平均樹高為主要依據，符合一般傳統立地級 (site index) 之定義，第一級不僅樹高特別高，其林分材積也明顯高於其他二級，分析該類別樣區之土壤發現與其他樣區有明顯的不同，係為壤土而其餘皆為砂質壤土表層，其 C、H、N 三元素也為所有分類群土壤中最高者。其餘二級土壤性質表現相近，可進一步評估是否能夠將此二級別合併。在立木數量分類方面，二級別之林分密度與成活率有非常明顯之差異，相較其他林分參數則沒有明顯的不同，而該二級別的土壤表現近乎一致，僅在粉粒與黏粒的比例上有些微不同。究其原因，應係 1 公頃範圍之樣區對於土壤空間變異來說空間解析度太小，土壤性質與母岩成分相關性較高，一地理區之母岩通常變動不大，雖本處花蓮光復台糖造林地客土情況普遍，但仍屬均質連續之鋪設情形，故在此範圍內採集之土壤變異不大係屬正常。未來若能在全區散布永久樣區，推測應能提高立地級別之間之土壤特性判準依據。

四、 迴歸分析

迴歸分析略分為三部份：1. 林分參數之間（式 1-7）；2. 林分參數與光譜值（式 8-12）；3. 林分參數與林分參數結合光譜值之關係（式 13-15），先將所有變數加入進行逐步迴歸分析後，選擇相關性最高的變數因子出來，接著分別在沒有立地級虛擬變數、加入生長表現立地級虛擬變數、加入立木數量立地級虛擬變數三種情況下進行強迫選入法迴歸分析，總共得到 15 類迴歸式，分為三種虛擬變數情形故總數為 45 個迴歸預測式，並以調整後決定係數（adjusted R square）為判準選擇出最佳預測模型（底框為灰色者），所有迴歸式之 R^2 總表如表 13。由表 13 可以看出大部分預測式皆以有加入立地級之虛擬變數為佳，其調整的幅度最高達 0.39（式 12），

表 13 各迴歸預測式之決定係數 (R^2)

編號	預測項	因子	無		生長表現		立木數量	
			R^2	調整 R^2	R^2	調整 R^2	R^2	調整 R^2
1	SV	H, DBH	0.81	0.80	0.83	0.80	0.88	0.86
2	SV	H, DBH, SD	0.86	0.84	0.87	0.84	0.88	0.85
3	SV	SCL	0.51	0.49	0.52	0.45	0.51	0.46
4	SCO	SCL	0.55	0.54	0.67	0.62	0.74	0.71
5	SCO	SCL, SD	0.71	0.68	0.78	0.73	0.74	0.70
6	SCO	SCL, CW	0.57	0.53	0.69	0.63	0.79	0.76
7	SR	SD	0.76	0.75	0.78	0.75	0.77	0.75
8	SV	SAVI, NDVI	0.46	0.41	0.50	0.40	0.46	0.38
9	SCO	R	0.49	0.47	0.70	0.65	0.61	0.57
10	SCL	R, SAVI	0.83	0.81	0.92	0.91	0.83	0.81
11	SD	R	0.33	0.30	0.89	0.87	0.80	0.79
12	SR	R	0.29	0.26	0.41	0.33	0.68	0.65
13	SV	SCL, NDVI, SAVI	0.60	0.54	0.61	0.51	0.60	0.52
14	SV	SCO, SCL, NDVI, SAVI	0.60	0.52	0.61	0.48	0.60	0.50
15	SV	H, DBH, NDVI, SAVI	0.83	0.80	0.85	0.80	0.90	0.88

*平均胸徑(DBH)、平均樹高(H)、平均冠幅(CW)、林分覆蓋度(SCO)、林分鬱閉度(SCL)、林分密度(SD)、成活率(SR)、林分材積(SV)、紅光反射值(R)、常態化差異植生指數(NDVI)、土壤適應指數(SAVI)

*底框灰色者為預測式較佳迴歸結果

上述迴歸分析結果顯示加入立地級虛擬變數之預測式的確有佳化的效果，即便在調整後 R^2 變低的式中（如式 3、8、13、14）其原始 R^2 值仍有微幅上升的趨勢，可見如能調整式中變數項或樣區變數數據品質，此方法依然具有發展潛力。

綜觀表 13 之結果發現應用光譜值 R 與 SAVI 參數推估林分鬱閉度（式 10）之預測能力相當高，沒有加入立地級虛擬變數前之調整 R^2 值已高達 0.83（調整後為 0.81），因此嘗試將林分鬱閉度作為立地級分類依據之一進行分群分析，同時將同質性高的林分覆蓋度一併分群分析以作比較參考，得到下圖 22 之分布結果：

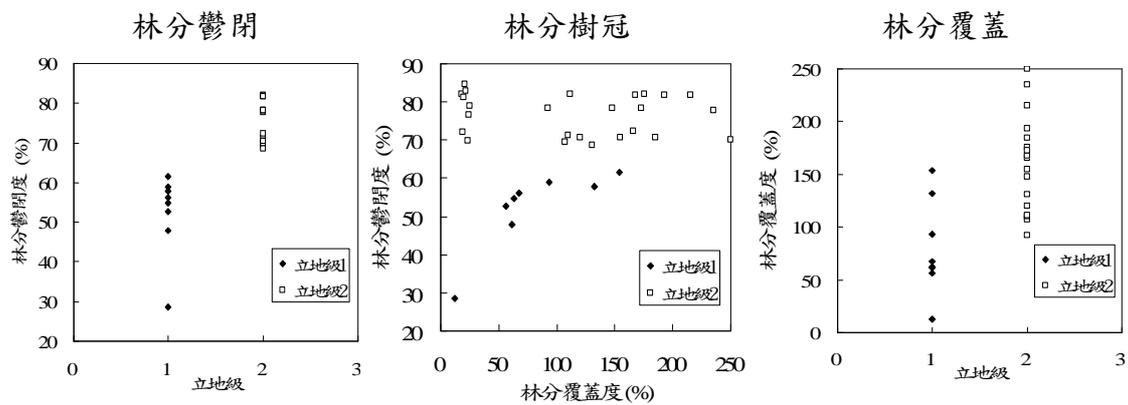


圖 22 林分鬱閉、林分樹冠、林分覆蓋立地級分布圖

其中以林分鬱閉度為單一分類因子的「林分鬱閉 (Canopy Closure)」散布圖與以林分鬱閉度及林分覆蓋度二分類因子「林分樹冠 (Canopy)」散布圖有明顯的分群結果，但上述二者皆可以林分鬱閉度約 65 % 作為分界線，而以林分覆蓋度為單一分類因子的「林分覆蓋 (Canopy Cover)」則沒有明顯界線，故選用較簡單之林分鬱閉立地分級結果進行後續分析。本研究主要目的為應用遙測技術估算大面積碳含量，而林分材積為換算碳含量之重要中間林分參數，故以林分材積為目前階段最為重視之林分參數之一。回顧表 13 中式 8，林分材積與植生指數 NDVI、SAVI 迴歸結果之調整後 R^2 值分別為 0.41、0.40、0.38，可見生長表現與立木數量二種立地級分類對林分材積估算沒有明顯效益。但將林分鬱閉立地級轉換為虛擬變數後加入該預測式中得到的 R^2 與調整後 R^2 值分別為 0.54 與 0.47，雖然僅提升 0.08 與 0.06，但在生態意義上，林分鬱閉度與光譜反射值之間關係的確密不可分，對於增加光譜值估測林分材積的能力而言並非沒有絕對影響。以林分鬱閉為立地級分類依據的各項平均林分參數與土壤性狀如表 14。發現不論是林分參數或土壤性狀，立地級 2 者皆比第 1 級佳。

表 14 林分鬱閉立地級平均林分參數與土壤性狀

立地分類		林分鬱閉	
立地級		1	2
林分參數	平均胸徑 (cm)	7.18	8.69
	平均樹高 (m)	5.25	9.72
	平均冠幅 (m)	3.13	3.99
	林分覆蓋度 (%)	80.10	160.85
	林分鬱閉度 (%)	52.27	75.77
	林分材積 (m ³ /ha)	14.51	54.54
	原始栽植密度 (株數/ha)	1312.50	1454.41
	林分密度 (株數/ha)	921.88	1148.53
	成活率 (%)	68.25	82.02
	土壤性狀	C (%)	0.61
H (%)		0.33	0.37
N (%)		0.08	0.10
Sand (%)		79.92	61.86
Clay (%)		8.03	12.05
Silt (%)		12.05	26.10
USDA 土壤質地分類		壤質砂土	砂質壤土

*林分鬱閉：以林分鬱閉度為因子進行 K 平均法分群。

*USDA 土壤質地分類：依美國農業部 (USDA) 土壤質地分類標準分類。

成活率估測部分，在式 7 中可見成活率與林分密度有高度相關，調整後 R^2 值達 0.75，因林分密度本係為成活株數與樣區面積之比值，與成活率有高度相關甚為合理。續見式 11，R 光譜反射值與林分密度調整後 R^2 值高達 0.87，綜合前述成活率與林分密度之關係，未來檢測平地造林成活率時可先行利用衛星影像 R 光譜反射值推估林分密度，再以估測林分密度值估算造林成活率。

各最佳預測式之變數標準化係數整理如表 15。以林分鬱閉立地級虛擬變數加入式 8 強迫選入迴歸結果預測式取代原來沒有加入虛擬變數之結果列於下表式 8。

表 15 各最佳預測式之變數標準化係數整理

編號	預測項	標準化係數模式
1	SV	= 0.748H + 0.348DBH + 0.256TA
2	SV	= 0.75H + 0.349DBH - 0.21SD + 0.275TA
3	SV	= 0.712SCL
4	SCO	= 0.634SCL + 0.440TA
5	SCO	= 0.45SCL + 0.381SD + 0.137GP1 + 0.33GP2
6	SCO	= 0.392SCL + 0.324CW + 0.493TA
7	SR	= 0.826SD + 0.009GP1 + 0.159GP2
8	SV	= -23.37NDVI + 23.623SAVI - 0.426CC
9	SCO	= - 0.565R + 0.271GP1 + 0.523GP2
10	SCL	= - 0.464R + 0.351SAVI + 0.329GP1 + 0.299GP2
11	SD	= - 0.747R + 0.369GP1 + 0.258GP2
12	SR	= - 0.532R - 0.75GP1 + 0.316GP2
13	SV	= 0.714SCL - 21.158NDVI + 21.13SAVI
14	SV	= 0.36SCO + 0.87SCL - 20.072NDVI + 19.913SAVI - 0.88GP1 - 0.16GP2
15	SV	= 0.828H + 0.436DBH - 3.825NDVI + 3.62SAVI + 0.298TA

*平均胸徑(DBH)、平均樹高(H)、平均冠幅(CW)、林分覆蓋度(SCO)、林分鬱閉度(SCL)、林分密度(SD)、成活率(SR)、林分材積(SV)、紅光反射值(R)、常態化差異植生指數(NDVI)、土壤適應指數(SAVI)、生長表現立地級 1(GP1)、生長表現立地級 2(GP2)、立木數量立地級 1(TA)、林分鬱閉立地級 1(CC)

五、 材積估算與碳含量轉換結果

(一) 樣區材積估算結果

根據表 10 樣區調查資料計算出 1 公頃樣區總蓄積量 41.73 m^3 ，此為地面真實資料之真值，其 95 % 信賴區間為 11.564 m^3 ，而模式(式 13)推估的總蓄積量為 53.95 m^3 ，比之真值 95 % 信賴區間上界 53.29 m^3 略高，預測效果仍有改善空間。圖 23 為 1 公頃次樣區之蓄積量空間分布圖，左為樣區蓄積量真值，右為使用預測式 13 的推估結果，可以看見模式推估結果較為樂觀，大部分次樣區皆高估，顯現不出極端狀況，尤其以 a1-a5、b1-b3 及 e1-e5 次樣區高估情況最為明顯。a1 次樣區成活率僅 24.44 %，立木株數 11 棵，地被植物覆蓋率約略為 70 %；a2-a5 次樣區樹種為茄苳，其冠層濃密形狀渾圓；b1-b3 次樣區樹種為光臘樹，生長表現(平均胸徑、平均樹高)與樹冠重疊情形(林分覆蓋度)較 b4、b5 為低；e1-e5 次樣區樹種為檫木，其樹冠形狀特性為枝條纖長、向外伸展但冠層稀疏，根據上述觀察結果推測模式高估之原因可能與地表草本植物背景與樹冠特性有關，因模式 13 中的參數有使用到植生指數，其值並無法將背景中的草本植物也就是非目標植物之光譜值過濾去除，造成草本植物之光譜反射值一併計入估算當中，使得材積估算結果變高，此情形應適用於解釋 a1、b1-b3 及 e1-e5 次樣區；另外，冠層過於濃密，導致光線在樹冠中多次折射、反射不斷累積其光譜值，最後被衛星上之感測器接收，此現象對 NIR (近紅外光) 之影響最為明顯，當葉面層數增加，其反射率最高可達 85 % (Myers, 1970)。

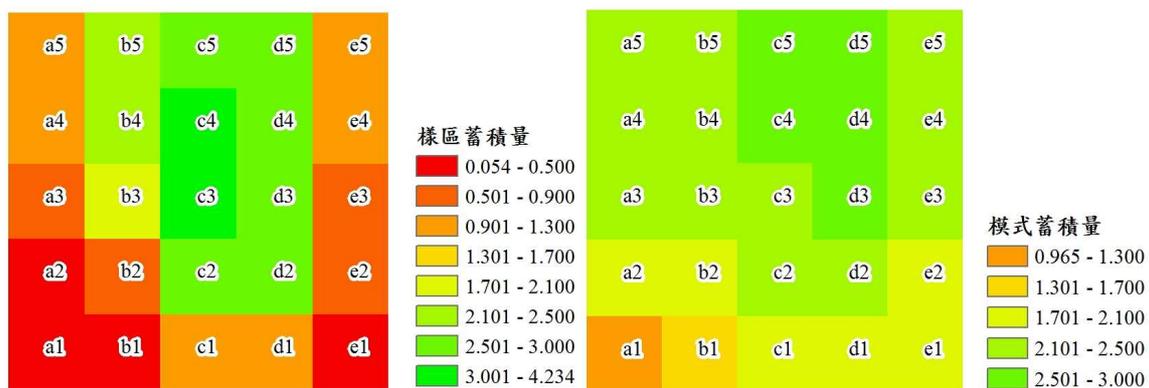


圖 23 樣區推算與模式估算蓄積量空間分布圖

(二) 樣區碳含量轉換結果

依據 IPCC (1997) 估算森林林木碳量之方法與試算原則，推估林木碳量有兩個重要步驟：1.藉由林木平均比重將林木單位面積材積換算成林木生物量。2.再利用林木生物量與碳含量轉換係數估算出碳量。依此原則，森林林木碳量的基本估測模式如下 (李國忠等, 2000)：

$$C_s = A \times V \times EF \times D \times CF$$

式中

C_s ：森林林木碳量

A：林分面積 (ha)

V：單位面積材積 (m^3/ha)

EF：擴展係數 (carbon factor)

D：基礎密度 (density)

CF：碳含量轉換係數 (carbon fraction)

擴展係數根據 IPCC (1997) 的建議，天然林之擴展係數 (EF) 為 1.75、人工林為 1.90、竹林為 2.00，因此本研究採用之擴展係數 (EF) 為 1.90。基礎密度 (D) 是為原木連皮之密度，一般採用 0.5 (IPCC, 1997)。而碳含量轉換係數 (CF) 根據林裕仁等 (2002、2005) 的研究，闊葉樹平均為 0.469。

將上節計算所得之蓄積量帶入上述林木碳量基本估測模式中所得之空間分布圖如圖 24，左為樣區蓄積量真值估測碳含量，總碳量為 18.59 ton；右為模式推估蓄積量估測碳含量，總碳量為 24.04 ton。

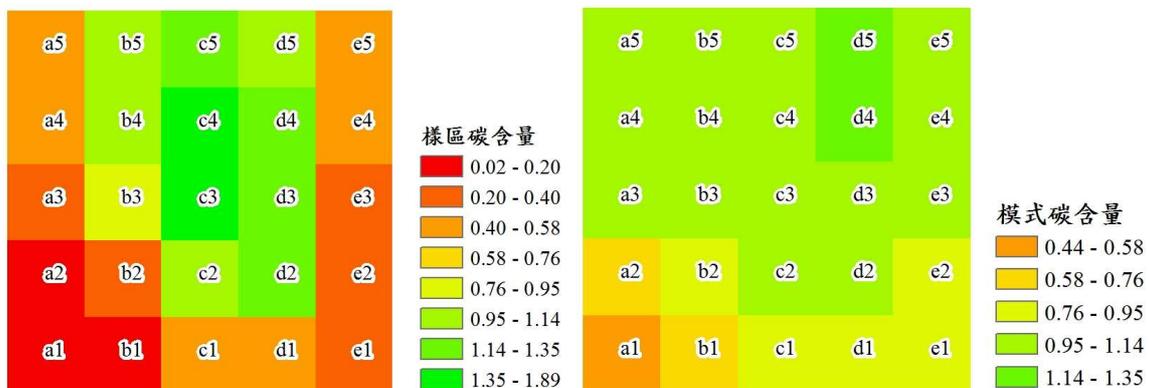


圖 24 樣區推算與模式估算碳含量空間分布圖

肆、 結論與建議

今年度研究結果顯示加入立地級虛擬變數項能提高預測能力，且提升效果普遍明顯，可見引進立地級分類之概念於林分參數檢測作業上是具有可行性及未來性。然仍需進一步思考在不同的情況下應選用何種立地級分類依據以求精確適用於估測對象。選用立地級分類時，應以省時省力且能容納全面性林分狀況之立地等級性狀為依據。因本年度計畫執行期間時間有限，無法將全區逾 1,000 公頃林分之各項立地級分類調查完畢，故無法將建立之估測模式全數實務應用於計算現地林分參數之估測值，缺乏與去年度計畫估測值之比較與討論，建議未來可針對本研究中的立地級別進行全面性林分調查及分類，便可建立全區林分參數空間分布圖，發揮本研究成果更大的參考價值。

細述各項迴歸關係，在調整後 R^2 值高的狀況下，仍應探討其參數之間的生態意義是否合理。在預測式 11 中，林分密度與 R 光譜反射值之調整後 R^2 值高達 0.87，是為極佳的成活率估測間接參數，但是 R 光反射值是否真的可以確切反應林分密度仍需進一步釐清。

以衛星遙測資訊加入立地級分類概念估測林分參數之方法尚在研究初始階段，其準確度尚不足以應用於實務檢測作業上，但已有初步成果顯示此研究方向正確，若能進一步加強資料品質與廣度，相信其研究成果估測品質能夠漸趨穩定與準確，提供經營管理者作為新的管理工具及參考依據。

參考文獻

1. 李國忠、林俊成、陳麗琴 (2000) 台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析。台灣林業科學 15 (1): 115-123。
2. 林裕仁、林俊成、劉瓊霏 (2005) 台灣地區木材之含碳量與比重測定。森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集: 266-278。
3. 林裕仁、劉瓊霏、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台灣林業科學 17 (3): 291-299。
4. 林登秋、江智民 (2002) 半球面影像在森林生態研究的應用。台灣林業科學, 17 (3): 387-400。
5. 林務局 (1997) 台灣林產物處分調查用立木材積表。行政院農業委員會林務局。台北。
6. 國立中央大學太空及遙測研究中心 (2010) 資源衛星接收站使用者手冊。第五版。
7. 曾仁鍵 (2004) 衛星影像於大度山地區植被光譜變遷之監測。國立臺灣大學森林學系研究所碩士論文。
8. 楊榮啟、林文亮 (2003) 森林測計學。國立編譯館。
9. 鄭祈全、邱祈榮、陳燕章 (1997) 應用遙測方法估測台灣杉林分之葉面積指數。台灣林業科學, 12 (3): 309-317。
10. 環保署 (2005) 環境採樣規劃設計。行政院環境保護署。
11. Frazer, G. W., Canham, C. D., & Lertzman, K. P. (1999). Gap Light Analyzer (GLA), vers. 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and rogram documentation. Burnaby, British Columbia: Simon Fraser Univ. and Millbrook.
12. Hoffer, R. M. (1978). Biological and Physical Consideration in Applying. Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. In P. H. Swain, S.M.Davis & H. McGraw (Eds.), Remote Sensing: The Quantitative Approach (Vol. 5): International Book Co.
13. Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ., 25, 295-309.
14. Jennings, S. B., Brown, N. D., & Sheil, D. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. Forestry, 72(1), 59-74.
15. Lin, T.-c., & Chiang, J.-m. (2002). Applications of Hemispherical Photographs in Studies of Forest Ecology. Taiwan J for sci, 17(May 2001), 387-400.
16. Myers, V. I. (1970). Soil, Water, and Plant Relations Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry (pp. 253-297). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
17. Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., & Harlan, J. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. USA MD: NASA/GSFC.

附錄

附錄一

平地造林台灣櫟與光臘樹調查結果摘要表（許原瑞，2008）

樣區	造林年度	區位	樹種	株數(n)	DBH(cm)	H(m)
35	92	屏東	台灣櫟	7	2.3	3
26	93	屏東	台灣櫟	50	4.4	3.8
23	93	台南	台灣櫟	31	4.6	3.9
11	92	雲林	台灣櫟	68	4.4	4.1
19	92	台南	台灣櫟	49	5.1	4.1
18	91	台南	台灣櫟	44	7.3	4.9
10	94	雲林	光臘樹	47	6.1	4.3
14	92	台南	光臘樹	8	2.7	2.2
36	92	台東	光臘樹	3	2.8	2.4
31	94	屏東	光臘樹	25	3	3.2
28	93	屏東	光臘樹	53	3.4	3.3
20	93	台南	光臘樹	30	3.7	2.8
15	92	台南	光臘樹	34	4.4	3.2
29	91	屏東	光臘樹	68	4.8	4.3
21	94	台南	光臘樹	3	5.1	3.1
40	93	花蓮	光臘樹	2	6	5.5
40	93	花蓮	光臘樹	2	6	5.5
12	92	雲林	光臘樹	77	6.6	5.2
37	91	花蓮	光臘樹	71	7.4	6.9
38	92	花蓮	光臘樹	73	7.6	5.6
41	93	花蓮	光臘樹	65	8.6	6.2
17	91	台南	光臘樹	59	10.4	10.2

附錄二

99 年度委託研究計畫期中報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：99-00-5-08

計畫名稱：遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究

審查委員意見	辦理情形
1.本計畫擬結合遙測與地面調查技術，發展通用於估算大面積地碳匯量的作業模式，以快速且正確掌握平地造林現況及固碳量。	謝謝審查委員。
2.為何以花蓮光復鄉的檫樹及光臘樹為對象，請敘明。	已將此部分說明加入期末報告中第 8 頁「貳、98 年度計畫內容回顧與維護」底下「一、98 年度研究對象」章節中。
3.研究林分的林齡、生長狀況、林分結構是否可以代表該樹種？請在期末報告敘明。	本年度計畫目標為混樹種林分參數推估模式，並嘗試不同以林分參數預測林分材積與固碳量，找出最佳模型。
4.估計模式及其參數為何？精確度如何？請在期末報告檢討敘明，另是否需地面調查資料予以檢定所推估之模式？	各項估測模式與參數及其精準度已整理於期末報告中表 13(p.34)及表 16(p.37)中。
5.在材料方法中應予敘明土壤性質的分析資料如何與林分的生產力及碳匯規模鍵結。	此部分與立地級分類依據有關，完整論述置於期末報告「參、工作成果」中的「五、立地級」章節之中。
6.本研究所得模式是否可應用在其他地區、林分或樹種？	依照本研究方法流程，應用於其他地區時仍需建立樣區、調查立地級現地狀況，將衛星遙測資訊配合地面調查資料即可應用。
7.樹高曲線及立木材積式如何建立？	此部分參考林務局於 1997 年發表之台灣林產物處分調查用立木材積表。
8.本計畫以遠域遙測技術估算碳匯量，值得深入探討，以能得到準確調查數據。	謝謝審查委員。
9.生長不良處，除調查土壤理化學性質外，土壤淹水與否，如口頭報告所述，值得以微地形變化及水流、積水性質詳細分析。	本研究以精確度 30 cm 之 GPS 儀器精密測量全區造林地，發現該處微地形變異不大，故積水問題在此予以屏除。
10.本研究結合遙測與地面調查技術，發展應用於平地造林林分碳匯量之作業，期望快速且正確掌握平地造林現況及固碳量，符合計畫目標。	謝謝審查委員。
11.報告圖 4 及圖 5 未於文內敘述，第 16 頁楊榮啟等引用文字未列入參考文獻中。	期中報告之圖 4 已於期中報告第 9 頁第 1 段倒數第 2 行中說明，圖 5 已於第 9 頁最後一行中說明，楊榮啟與林文亮(2003)已經列入參考文獻第 5 項。

附錄三

99 年度委託研究計畫期末報告委員審查意見辦理情形表
計畫編號：99-00-5-08

計畫名稱：遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究

審查委員意見	辦理情形
1. 遙測法所估算之林分狀況必須經地面調查資料之校正，技術煩雜，任一環節失誤皆會降低估算值之可信度，至本年度為止，對各種可能導致誤差因子未能修正之部分，建議在第 3 年積極進行以完成。	謝謝委員指教，今年度研究成果已掌握方向，未來應可加入立地分級調查結果以加強預測能力。
2. 平地造林之林分，自林分狀況轉換為碳匯之模式，建議在第 3 年也能完成。	謝謝委員提醒指教，已將今年度林分材積估算成果轉換為碳含量結果於本研究報告中之第五、六章節(p.40-42)。
3. 林分的冠層覆蓋度依第 22 頁的定義，應小於 100%，但在第 26 頁表 10 卻有大部份樣區超過 100%，原因為何？	謝謝委員提醒，此係為定義問題，已於本期末報告中「參、工作成果」之「一、1 公頃樣區」底下「(四) 應用半球面影像計算林分鬱閉度」(p.23)補說明。
4. 林分分級以林況為依據(第 31 頁)，但林況受林齡所影響，如何應用以不同林齡所建立之地級？請補強。	目前光復地區造林地林齡差異不大，故較不適用於用林齡來建立地位級。
5. 建議表 1 (第 10 頁) 樹種名稱欄之單位 (ha) 移至表頭名稱後面。	謝謝委員提醒，已改正。
6. 表 1 (第 10 頁)、表 2 及 3 (第 11 頁)、表 4 (第 12 頁)、表 6 (第 16 頁)、表 7 (第 18 頁)、表 12 (第 33 頁)、表 15 (第 36 頁) 等表格內之橫列，建議使用虛線，與欄位格式區別。	謝謝委員提醒，已改正。
7. 第 13 頁表 5 總平均生長量單位與表 10 不同，請修正。	謝謝委員提醒，已修正統一為 ($m^3*ha^{-1}*y^{-1}$)。
8. 表 11、12 及 15 (第 30、33 及 36 頁) 之 C, N 及 H^+ 測值表示與一般不同。	謝謝委員提醒，本次土壤分析並未進行 pH 值測定，原 pH 值測定流程已經刪除，故其餘 C、N、H 濃度表現方式仍維持不變。
9. 參考文獻 (英文) 使用斜體有何特別意義？	謝謝委員提醒，原斜體表示者為書名，已統一改為正體方便查閱。
10. 本計畫擬透過混植林分調查與遙測技術，建立混和林之大面積林分蓄積量，以估算蓄積模式。本年度針對 1 公頃樣區之調查，進一步修訂實際推估。	謝謝委員指教，本年度計畫已將純林碳匯估測式改為混和林分碳匯估算式，成果雖有高估情況，但如能加入立地分級虛擬變數應能有效提高模式預測力。
11. 本研究擬針對遙測技術應用於平地造林碳匯計量上，是否補充碳匯量之累積差異。	目前運用遙測技術估算不同樹種之碳匯量尚有較大誤差，建議等明年進行更進一步研究之後，再行估算。

