

棲蘭山檜木林水文氣候文獻整理及 資源調查 (2/2)

研究成果報告

主管機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：中國文化大學

計畫主持人：地學研究所 洪念民 教授

摘要

棲蘭山檜木林由於特殊的雲霧環境、珍貴與稀有的檜木樹種與生物種類繁多，為台灣自然環境的重要資產。本研究主要以棲蘭山檜木林的氣象與水文特徵進行研究，主要分為三個部分說明，包括棲蘭山自然保護區氣候特徵、復育適宜地評估與經營管理建議。保護區自動站氣象站主要分布在蘭陽溪的中下游與鄰近山地，上游的氣象站則較少。在降雨與海拔高度變化上，只有秋季且在 500 公尺以下具有一定關係，超過 500 公尺趨勢尚不明顯；以降雨與距海距離評估，除春季外，降雨量與距海距離的直線關係較為明顯，但距離超過 40 公里後則有下降趨勢。以棲蘭山自然保護區，春季雨量在蘭陽溪流域上游較少，約在 400~500 毫米；夏季雨量以太平山地區最高，於保護區範圍平均約 900~1,000 毫米；秋季雨量明顯轉於東北部蘭陽溪流域，雨量向西南向遞減，東北區域雨量在此三個月可累積達 1,600~1,900 毫米的降雨量，為此區最主要降雨季節。檜木林區域的氣候特徵，在全年平均降雨部分約 2,300~3,700 毫米，高度影響降雨不明顯，檜木林主要雨區為 700~1,300 公尺。春季在海拔 1,500~1,900 公尺呈現雨量下降，此結果顯示儘管春季的雨量減少，但不以作為檜木林生長的限制。在各季節上在高度 900~1,600 公尺雨量都明顯較多，但大多數所指的雲霧帶為 1,500~2,500 公尺，兩者之間有所不同。溫度方面，氣溫隨高度下降不明顯，且都遠低於氣溫垂直遞減率。就各洲雨林區特性評估，保護區具有較高的雨量、較低的平均溫度、海拔高度高、較低的溫差及平均距海距離較近等特性。採用溫度、年雨量與季節性等 10 個因素進行檜木林棲地評估，其結果顯示，主要因素為在冬季最高溫要介於 6~15°C、高度介於 1,618~2,805 公尺、夏季雨量介於 700~1,122 毫米、秋季平均高溫介於 16~23°C、秋季平均溫度介於 11~18°C，此五項因子可決策 96%，也可依此結論進行復育地點適宜性評估。在經營管理方面，管理準則在管理目標擬定，以確保永續水資源利用、維持河道生態流量與長期氣象監測；自然資源保育，則包括建立氣象與水文基線、評估氣候敏感地帶與外來風險、降低人為活動水文衝擊與提供生態流量與風險；文化資源的管理與保護，為認知與追朔水與霧的生活空間；教育的闡釋，包括雲霧與檜木互動與生存、雲霧的觀景時間與欣賞平台教育單位及雲霧觀測；保育與社區組織的相互依賴，環境資源價值的提升。

Abstract

The Cilan Mountains cypress sites in fog and rain forests, and has important cypress species and large biological diversity. The study is to review and investigate climate characteristics in Cilan Mountain areas, evaluate the cypress recovery areas and management principles in climate and hydrology. Most weather stations are located in downstream and near mountainous areas, but several stations are located in upstream. The rainfall increases with elevation under 500 meters and increases with distance from coastline in 40 km. In spring, less rainfall in upstream is about 400~500 mm; the highest rainfall in summer is located in the Taiping mountain areas. The main rainfall season is in fall and is about 1,600~1,900mm. The annual rainfall in cypress vegetation is 2,300~3,700 mm and is not sensitive with elevations. The spring rainfall in cypress vegetation areas is between 1,500~1,900 mm and it show less rainfall when compared with other areas. It seems not the limitation of cypress in climate factors. The rainfall in other seasons shows higher than in spring. The locations of concentrated rainfall is not the same as fog mountain distributions in elevations. The temperature decreases with elevation, which is less than the standard temperature decline rate. Overall, the higher rainfall, lower annual temperature, higher elevation, lower difference of temperature and near distance from the coastline when compared with other rainfall forests. In results, the main climate factors can be concluded. The high temperature in winter is 6~15°C, the elevation is form 1,618~2,805 meters, the rainfall in summer is between 700~1,122mm, the high temperature in fall is 16~23°C and the average in fall is 11~18°C. The five climate factors can be determined 96% of the cypress vegetation distribution. Management principles can be built from goals of management. The goals are sustainable water resources, maintain ecological discharge and long term weather monitoring. To build climate and hydrology baseline, to demarcate the sensitive zone, to decline the impact of human activities and to quantify ecological discharge and its risk. Recognized the living space of hydrology and fog is included in culture resources management and protection. Interaction of cloud/fog and cypress, cloud landscape platform and education of fog observation are in education explanation. The location organization and conversation of cypress are interdependent to improve the value of nature resources.

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 文獻回顧.....	2
2.1 氣候特徵.....	2
2.2 檜木林分布.....	4
2.3 雲霧帶.....	6
第三章 氣象特性分析.....	8
3.1 氣象站氣候特徵.....	8
3.2 棲蘭山野生動物保護區氣候特徵.....	11
3.3 天然檜木針葉林分布地形與氣候特徵.....	14
3.4 日本白神山地、美國紅木公園與台灣棲蘭山林氣候比較.....	19
第四章 雲霧帶氣象資料分析.....	23
4.1 氣象資料.....	23
4.2 衛星影像資料評估.....	26
4.3 世界雲霧森林中棲蘭山檜木林.....	33
第五章 檜木林最佳復育場址分析.....	34
5.1 決策樹 (Decision Tree, DT)	34
5.2 主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)	34
5.3 地理加權迴歸分析 (Geographically Weighted Regression)	36
5.4 決策樹 (DT) 分析成果.....	36
5.5 主成分分析 (PCA) 分析成果	39
5.6 比對成果.....	42
第六章 經營管理.....	44
6.1 一般性原則.....	44
6.2 氣象與水文.....	46
6.3 經營管理準則.....	47
參考文獻.....	49

圖目錄

圖 1、自動站分布圖.....	9
圖 2、氣象站降雨溫度季節分布.....	10
圖 3、棲蘭山野生動物保護區降雨特徵.....	12
圖 4、棲蘭山野生動物保護區溫度特徵.....	13
圖 5、森林資源調查國有林地土地利用檜木天然林、造林分布圖.....	15
圖 6、北臺灣檜木植群分布概況 (1993).....	16
圖 7、檜木天然針葉林海拔與面積機率密度.....	17
圖 8、檜木天然針葉林分布坡向圖.....	17
圖 9、棲蘭山檜木林全年雨量在高度的變化.....	18
圖 10、日本白神山地區域四季氣溫趨勢圖.....	20
圖 11、日本白神山地區域四季平均降水量圖.....	20
圖 12、美國紅木公園四季氣溫趨勢圖.....	21
圖 13、美國紅木公園四季平均降水量圖.....	21
圖 14、台灣棲蘭山區四季氣溫趨勢圖.....	22
圖 15、台灣棲蘭山區四季平均降水量圖.....	22
圖 16、逐時氣象資料 (2014/04/11).....	24
圖 17、地面氣壓圖 (2014/04/11).....	25
圖 18、SPOT 衛星影像資料 2014/4/11 (01:55).....	25
圖 19、SPOT 衛星影像資料評估流程.....	27
圖 20、非監督式方法分 5 類 (紫色為雲霧、黃色為建物).....	28
圖 21、非監督式方法分 10 類 (左圖為分類結果、右圖紫色為雲霧區).....	28
圖 22、近紅外門檻 250 (藍)、200 (綠)、180 (紅).....	29
圖 23、NOAA 雲高 (a).....	31
圖 24、NOAA 雲高 (b).....	32
圖 25、決策樹.....	35
圖 26、五項檜木生長條件因子.....	37
圖 27、北台灣之高度、雲發生機率與檜木生長區域對應圖.....	38
圖 28、以決策樹汲取之重要因子進行 GWR 分析成果圖.....	39
圖 29、以主成分分析萃取之成分進行 GWR 分析成果圖.....	41
圖 30、推測復育檜木林植群位置分布圖.....	43

表目錄

表 1、衛星影像影像資訊.....	30
表 2、雲霧森林主要環境要素.....	33
表 3、決策樹決策檜木林植群分布重要規則.....	37
表 4、成份矩陣.....	40
表 5、Redwood Creek Watershed Group.....	45
表 6、經營管理準則.....	47

第一章 前言

依據「棲蘭山檜木林世界遺產潛力點設置要點研究 (2/2)」(雷鴻飛, 2014), 棲蘭山檜木林在世界遺產評估基準中, 無論在美學基準、地史基準與生態多樣性基準上, 皆符合世界遺產標準。未來擬向聯合國教科文組織 (UNESCO) 提出世界遺產申請的同時, 須先對棲蘭山檜木林相關資料加以蒐集, 並突顯傑出的普世價值, 且更進一步建構未來經營管理的藍圖。本研究構想係針對棲蘭山檜木林之水文與氣候文獻整理與資源調查, 根據現有資料及文獻, 整理水文、氣候文獻目錄, 總結研究區的水文及氣候現況。透過回顧整理及資料蒐集與分析, 建立起氣候特徵不同分區、溫度與降雨空間分布、集水區經營、雲霧帶等工作方針, 以利日後發展經營管理計畫奠定準則。藉此檢視在棲蘭山檜木林空間分布與氣候特徵之關聯性, 並評估人類活動的機會以及潛在衝擊, 從中辨識今後經營管理的重點與先後次序, 研究內容一方面作為環境教育材料, 另一方面引導實質規劃與建設方向, 並對檜木林保護區與緩衝區劃定提出建議。

第二章 文獻回顧

2.1 氣候特徵

地區性氣候都會受到周遭自然環境因子影響，並因而產生氣候的獨特性。影響台灣地區氣候的自然環境因子包括：緯度、高度、山脈走向、局部地形、海陸對比、洋流、盛行風（季風）、颱風、地表覆蓋物等。這些自然環境因子又可稱為氣候控制因子。個別的因子則對於氣候的影響常因地、因時而有所差異，因此造成許多不同的氣候類型（王鑫，2000）。

台灣是一個地狹人稠的島嶼，位在亞熱帶與熱帶之間，氣候溫和，雨量豐沛。台灣山地區域的年均溫，一般隨著海拔高度上升而遞減。而年均溫攝氏 20 度的等溫線，大致符合海拔 1,000 公尺等高線；攝氏 10 度等溫線符合海拔 2,500 公尺等高線；攝氏 5 度等溫線則與海拔高度 3,000 公尺的等高線分布相符合。王鑫教授引用戚啟勳教授依據氣象數據、緯度和河谷朝向差異，為台灣定義六個氣象區，也將棲蘭山檜木林所在的研究範圍描述為正好橫跨「西北山區」和「中部東側山區」兩個氣候分區，且此兩個氣候分區的界線也正是王鑫教授研究範圍中的主要分水嶺，此分水嶺呈現東北 - 西南走向（尖山 1,852 公尺 — 稜山 1,802 公尺 — 唐穗山 2,090 公尺 — 東保津寒山 1,962 公尺 — 島俱子 2,346 公尺 — 眉有岩 2,328 公尺 — 馬惱山 2,580 公尺 — 邊吉巖山 2,824 公尺）。

棲蘭山區地勢起伏，山川陡峻，呈現獨特的生態環境，這塊原始林區位處台灣中海拔之霧林帶，潮濕多雨，為最佳的野生動物棲息地（徐國士，2000）。東亞夏季季風雨帶及其降水，主要由來自熱帶海洋暖溼氣團與高緯度大陸乾冷氣團相互作用之鋒面系統所決定。其鋒面降水帶亦即目前盛行於東亞地區（華南、台灣及日本）夏季之梅雨帶，因此其變化主要受大範圍之大氣環流影響。台灣位於東亞季風區中心及季風鋒面雨帶南緣，梅雨季雨量多寡對本區氣候之旱、澇影響亦大（陳鎮東，1999）。

棲蘭山 120 及 130 林道位於宜蘭縣大同鄉邊界與桃園市復興區相鄰之大漢溪上游，海拔範圍在 1,200 公尺～1,900 公尺之間，平均溫度約 11°C～17°C 是屬於

暖溫帶至溫帶之氣候帶，月平均雨量以一、二月份最低，降雨高鋒則多在九、十一月，平均雨量 3,162 毫米，為雨量豐沛的環境 (陳子英，2005)。此地區為全臺全年最濕潤的中海拔雲霧帶，氣候濕潤，最適宜扁柏生長，扁柏族群數量約為紅檜的 2~3 倍之多 (李玲玲，2000)。此區位居東北季風之要衝，全年各月雨量平均而豐富具有雨林性質，並且有多棵碩大的老熟檜木被列為神木級之巨木 (王兆桓，2005)。

棲蘭山地區海拔自 250 公尺~2,500 公尺，為雪山山脈支稜，蘭陽溪與淡水河的分水嶺之一。該區位於東亞熱帶季風氣候之迎風帶，地勢西南高東北低，山脈多呈東北-西南走向，使得東北季風與太平洋暖風得以長驅直入，故氣候濕潤，雨量豐沛，常年雲霧瀰漫，尤以午後為甚，成為本區特色；全年各月份相對濕度在 85% 以上，屬於潮濕的溫帶氣候型。本區每年四至五月為梅雨季節，六至九月常有颱風侵襲；年平均降雨日數約佔全年二分之一，年降雨量在 3,000 毫米以上，年平均溫約 18°C (李玲玲，2000)。王震哲 (2000) 提出棲蘭山地區位於蘭陽溪及大漢溪之間的分水嶺，蘭陽溪溪谷唯一迎向東北之口袋型開口，東北季風受地形抬升而釋出水氣為恆濕型氣候，迥異於台灣其他地區多少有乾濕季交替現象之夏雨型氣候。棲蘭山區恰位於恆濕型之東北氣候區與夏雨型氣候區之轉換帶，由於氣候的明顯轉變，分布於此線兩側之植物種類亦有差異。生態交會帶往往具有較高的生物多樣性，故棲蘭山區在台灣地區生物多樣性有其獨特的地理位置。

四季溫度特徵方面，1960~2012 年間，春季平均溫度隨著高度增加而降低，範圍內最低溫度出現於東南角高度約為 2,700 公尺，溫度約介於 7.9°C~9.4°C，最高平均溫度於蘭陽溪流域左側高度約為 (360 公尺)，溫度大約介於 17.2°C~20.3°C，高度溫差約為 15°C，冬季最低平均溫度全區不低於 1.6°C，全年平均溫度溫差大約 15°C 左右。往年的數據可以發現，2004 年以前缺乏關於棲蘭山區的長期氣象資料，然而在鴛鴦湖保留區則早就設有氣候調查站。根據此氣候調查站 1993 年至 2000 年間的測量資料顯示，此處年均溫為 13°C；年雨量因受到颱風侵襲影響，變化極大，數據分布自 2,000 毫米到 5,000 毫米都有。夏季雨水大多

來自地形雨及颱風；冬季以東北季風為主，全年並無明顯的乾、濕季之分（葉青峯，2004）。

2.2 檜木林分布

紅檜屬於柏科，扁柏屬之大喬木，為台灣珍貴之鄉土樹種，材質優良，具有許多特質，為高級之建築家具用材，而聞名於中外。台灣檜木林分布於海拔 1,050 公尺 ~ 2,800 公尺之間，或成純林，或與扁柏、鐵杉、松類及闊葉樹混生。由於其經濟價值甚高、幼齡生長快速、造林容易，逐漸為台灣中高海拔之主要造林樹種（邱志明與羅卓振南，2002）。檜木林生態系是台灣植群演化史中重要的一環，為古地史之子遺珍稀林相，且今日僅見於東亞及北美（王鑫，2000）。邱志明等人研究顯示台灣檜木林主要由台灣扁柏和紅檜所組成，此二者皆為台灣珍貴的鄉土樹種，皆曾有大面積的天然群落分布於本省中央山脈中，而目前大範圍的檜木林還能在本省北部棲蘭山區發現。

紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 與臺灣扁柏 (*Chamaecyparis taiwanensis*) 為柏木科 (Cupressaceae) 扁柏屬的植物，僅分佈於臺灣，為台灣的原生樹種。1994 年國際自然保育聯盟 (The world conservation unit, IUCN) 的物種評估將紅檜及台灣扁柏列為受威脅之易受害等級，即 10 年或 3 個世代族群將減少 20% 以上。台灣紅檜與台灣扁柏主要分布於中央山脈山區，北起插天山，南迄大武山，大致圍繞中央山脈形成一環帶狀區域，紅檜的分布範圍於海拔 1,000 公尺~2,600 公尺之間；台灣扁柏分布於海拔 1,200 公尺 ~ 2,800 公尺間，紅檜較扁柏分布海拔來的低。而扁柏屬植物在地球上僅在太平洋兩側的海岸山脈和美國東部被發現。之所以呈現如此不連續分布的原因，推測扁柏屬植物自其發源地，阿拉斯加與阿留申群島一帶，受到氣候變遷之影響而南移，再加上東海陷落、日本與台灣自大陸分離兩種原因，最後成為現今的不連續分布(黃錦源，2000)。

棲蘭檜木林主要為臺灣原生之檜木類，有紅檜及臺灣扁柏兩種（林湘玲與郭幸榮，2003）。紅檜與台灣扁柏在分類上為柏科扁柏，屬常綠大喬木，為台灣特有

種且在木材生產上具高經濟價值。徐國士 (2000) 初步觀察棲蘭山區周圍面積約一萬五千公頃的生態環境資源，該地區為台灣目前最大面積的天然原始林，亦是台灣最精華的惡鄰生態體系。範圍內因涵蓋雪山山脈北端及與中央山脈交接帶的山地環境，大多是未經開發的山區自然地形地勢，原始森林裡棲息著多種類及多數量的動物資源。棲蘭林區的生物資源狀況，根據學者的調查及文獻資料顯示，具涵台灣特有而珍貴的檜木(扁柏)原始林面積，依政府資料估計約達 1 萬 5 千公頃，分布在 43 個林班裡，材積約 3 百萬立方公尺 (若依民間保育團體估計，材積約達 430 萬立方公尺)。資料顯示，這塊原始林區位處台灣中海拔之霧林帶，潮濕多雨，為最佳的野生動物棲息地。

棲蘭林區 1,400 公尺以上的主要林型為檜林帶、鐵杉林與針闊葉混生林，1,400 公尺以下則為楠櫟林帶的天然闊葉林與柳杉人工林 (李玲玲 2000)。陳子英教授研究過棲蘭山 120、130 林道之間的集水區及 160、170 林道附近地區，並包含部分鴛鴦湖集水區，此三個區域當時存有數量頗豐富的檜木天然林，他們的林分組成相似，除了因受到微氣候影響使得植群組成稍有差別。

王震哲 (2000) 於民國 89 年三月至十月間在棲蘭山區進行植物資源調查，調查結果計得區內之維管束植物 1009 種，分屬 152 科 502 屬，種類相當豐富。其中的檜木林為全台北此類林型中蓄積優良、更新最佳，佔地最廣，且不同齡級之林分 (幼齡林、壯齡林及老齡林) 於此均可發現，具有高度生態多樣性，特別是其中的扁柏林為全台 (也是全球) 唯一殘存最大面積之天然純林，更應予以保存。人造林絕大部分位於太平山事業區，及宜蘭縣境內，在棲蘭山 100 線林道、102 線林道 (廢棄)、110 線林道以及北部橫貫公路東段沿線之大部分天然針葉林 (以檜木為主) 幾已砍伐一空，造林樹種以柳杉居大宗，檜木次之，間雜其他針葉樹種。柳杉造林地之組成頗為單純，物種多樣性遠低於天然林。其結構略可分為三層，上層純為柳杉，灌木層以長梗紫麻、水麻、台灣山桂花、九節木、硃砂根等較為常見，草本層則以闊葉鋸齒雙蓋蕨、生根卷柏、闊葉麥門冬、水鴨腳、戟葉蓼等較為常見。

2.3 雲霧帶

Hamilton et al. (2012)研究指出部分位在非洲、中南美、南亞、東南亞及太平洋熱帶島嶼的森林生態系，受到地理位置和氣候影響，使得雲霧籠罩的現象特別明顯。學術界特稱此種森林為雲霧森林 (cloud forest, CF)或稱為熱帶山地雲霧森林 (tropical montane cloud forest, TCMF)。Foster(2001)認為雲霧森林指的是經常性或季節性地被雲霧所籠罩的森林，雲霧分布區域即為雲霧森林分布區域。雲霧的行程因受到空氣中水含量、風速、風向、距海遠近、地形地勢、山塊大小等等多樣因素之影響，主要分布於山地及熱帶地區，海拔高度則在 1,500 公尺~3,000 公尺之間，然而也有熱帶海島國家的雲霧森林分布海拔低於 500 公尺的紀錄。

對雲霧森林，世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 有明確地定義，當水平能見度低於 1,000 公尺時，即稱為「有霧」(陳耀德，2003)。但是，即便已有定義，學術界卻仍無法以明確的量化標準來界定雲霧帶，且對雲 (cloud) 與霧 (fog) 的定義也有著各樣不同的說法。目前普遍認為，接近地面的「雲」就稱為「霧」。其他還有如 Foster (2001) 利用顆粒大小或形成機制來區分雲、霧的理論。霧本身依形成機制的不同還可分成對流霧 (advective fog)、地形霧 (orographic fog) 與輻射霧 (radiation fog)，其化學組成也隨之不同。陳耀德 (2003) 發表文章中對雲霧森林做了一系列的詳解和討論，而葉青峯 (2004) 發表的臺灣扁柏森林的生物量及雲霧沉降量估算研究中也對雲霧帶和雲霧沉降等做了詳細的研究。

臺灣是屬於島嶼型氣候，故深受從海洋所帶進的水氣影響，相對濕度普遍較高，又因區位關係使臺灣山區常有雲霧出現，而在東北部山區是以地形霧、平流霧等成因的霧最為常見，學界普遍認為臺灣的中海拔山區有部份是屬於雲霧森林。葉青峯 (2004) 鴛鴦湖地區的研究結果中提出，地形霧的形成是氣團沿著山坡向上，絕熱冷卻與水氣凝結而產生，此區在夏季是以地區性的地形霧為主，秋冬春季除地形霧之外，另受大區域氣候所帶來的雲團 (霧團)，使得其研究區的年

雲霧籠罩時數相當的高 (3,331/小時)。其研究成果在各月份趨勢與 Chang et al. (2002)的結果相近，以秋季的雲霧覆蓋時間最長，十月至翌年二月籠罩時數平均每日超過 10 小時 (葉青峯，2004)。

第三章 氣象特性分析

3.1 氣象站氣候特徵

依照中央氣象局氣象站長期氣象紀錄，在蘭陽溪流域與棲蘭山檜木林區鄰近自動站紀錄資料，自 1996～2015 年的雨量站共計 19 站，溫度紀錄自 2006～2015 年共計 11 站，自動站空間分布如圖 1 所示，自動站主要分布在蘭陽溪的中下游與鄰近山地，鄰近高程較高的氣象站如福山與下盆，高程僅為 405 公尺及 527 公尺；上游區域則僅剩下太平山 1,810 公尺、南山 1,260 公尺與思源 2,036 公尺。本研究為棲蘭山檜木林與蘭陽溪流域的氣候特徵，並以氣象站高程與距海遠近評估，距海距離以宜蘭氣象站為基準，各測站與宜蘭站的直線距離為距海距離；依照春（2～4 月）、夏（5～7 月）、秋（8～10 月）與冬（11～1 月）四季評估平均降雨與平均溫度，分析結果如圖 2 所示。

降雨對不同海拔季節變化方面（圖 2a 與 2b），在秋季雨量為最大，超過 1,000 毫米，冬季與夏季相近約為 500 毫米～1,000 毫米，春季為雨量最少季節，在降雨與海拔變化上，只有秋季且在 500 公尺以下具有一定關係，超過 500 公尺受限於資料筆數（氣象站個數）趨勢尚不明顯，且南山站（1,260 毫米）降雨量少於海拔 500 公尺以下的降雨量；以降雨與距海距離評估，除春季外，降雨量與距海距離的直線關係較為明顯，但距離超過 40 公里後則有下降趨勢。

溫度方面（圖 2c 與 2d），溫度測站數量較雨量站個數為少，夏秋溫度較高且差異不大，約為 22～27℃；冬春溫度較低，約為 15～23℃；溫度與海拔高度關係較不明確，且溫度測站在海拔 500 公尺～1,500 公尺呈現資料缺口，在這個高度內目前沒有測站。在溫度與距海距離的季節變化方面，差異不大。目前研究區域自動站中，僅福山站（C0A560）與桶後站（C0A570）具有濕度長期觀測資料。

整體而言，降雨隨距海距離的變化趨勢較溫度變化明顯，尤其以秋季最為明顯，在距離海邊 25 公里內呈現離海距離越遠降雨量越大趨勢；但超過 40 公里後雨量大幅減少；反之，雨量隨海拔高程變化較不明顯。溫度方面，對於海拔高度與距海距離較無明顯關聯，資料分布在 500 公尺～1,500 公尺無氣象站資料。

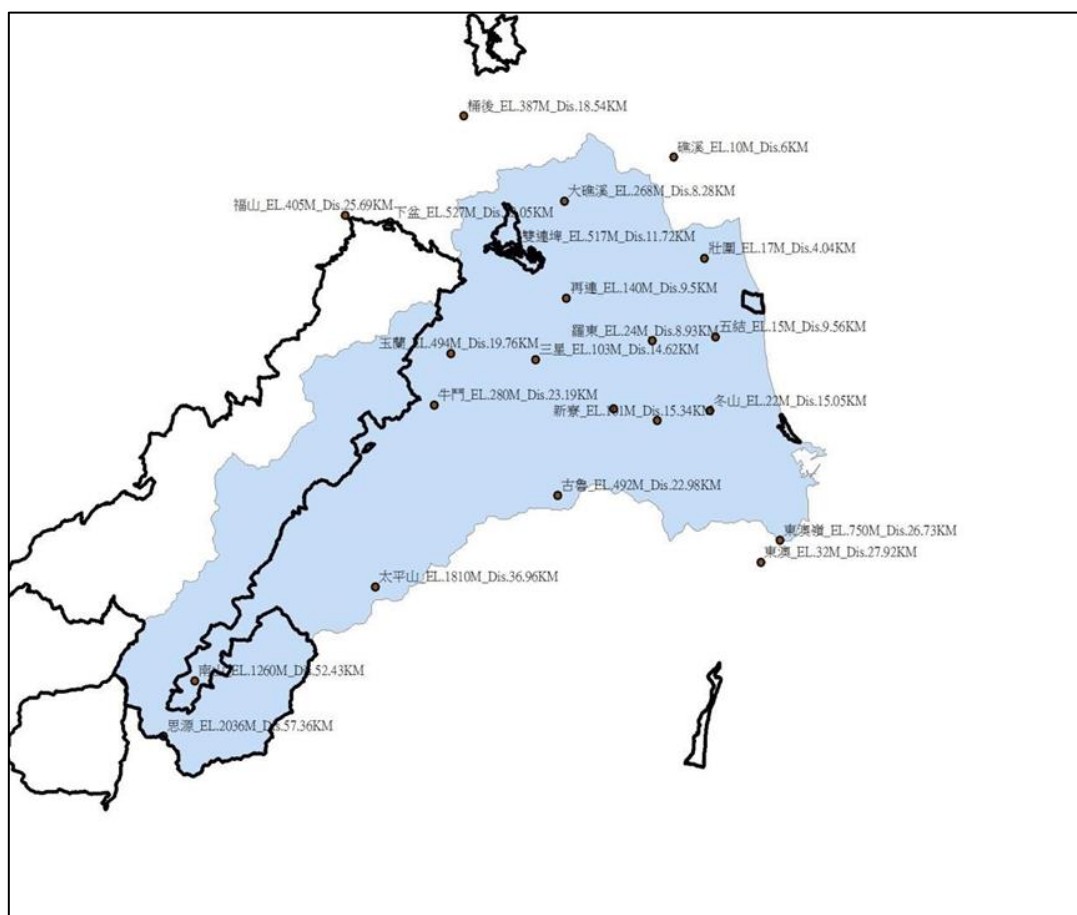
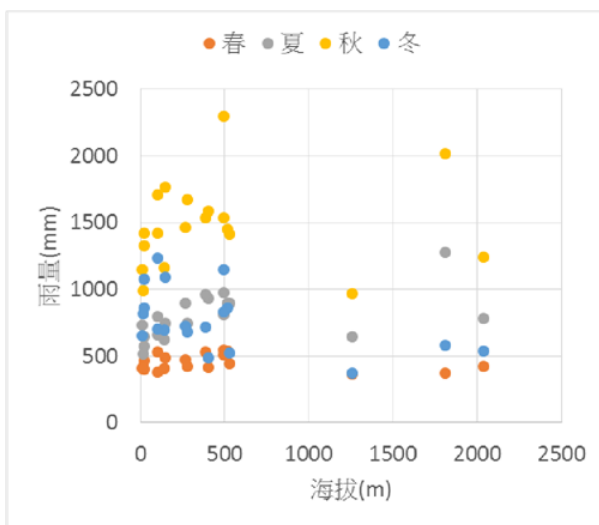
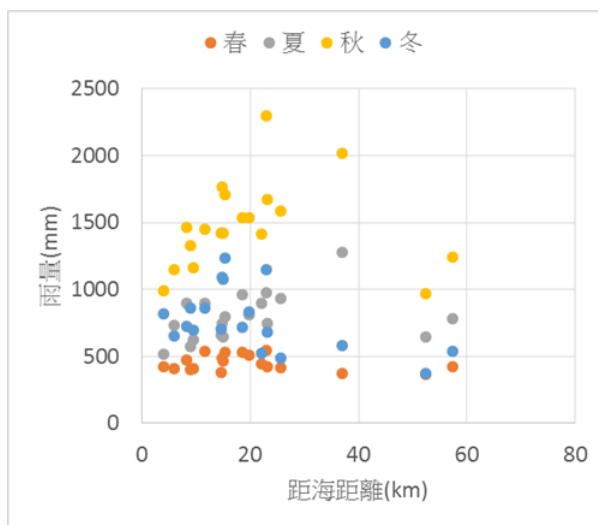


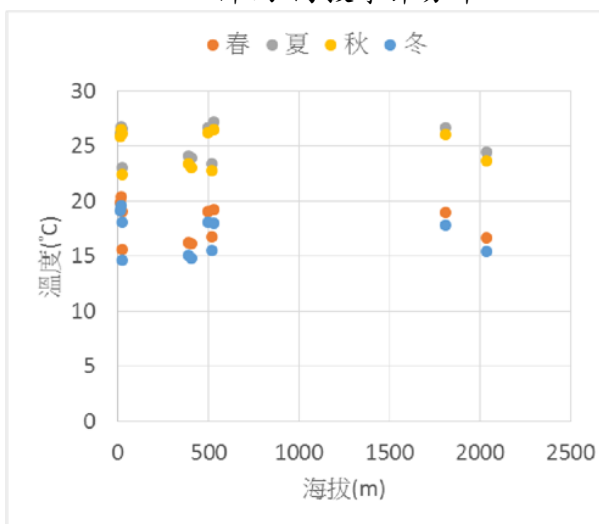
圖1、自動站分布圖



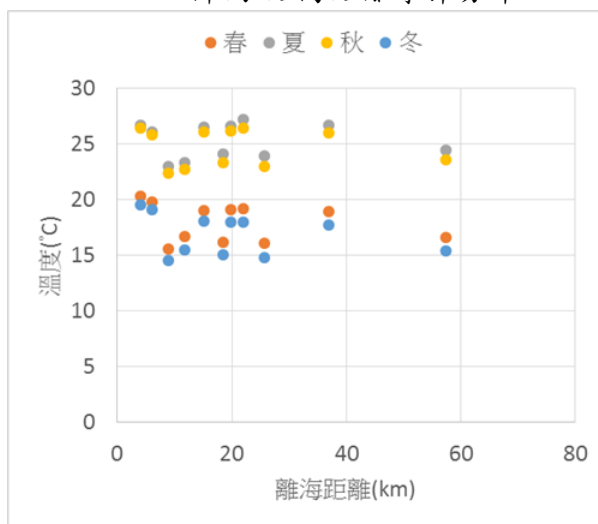
a. 降雨-海拔季節分布



b. 降雨-距海距離季節分布



c. 溫度-海拔季節分布



d. 溫度-距海距離季節分布

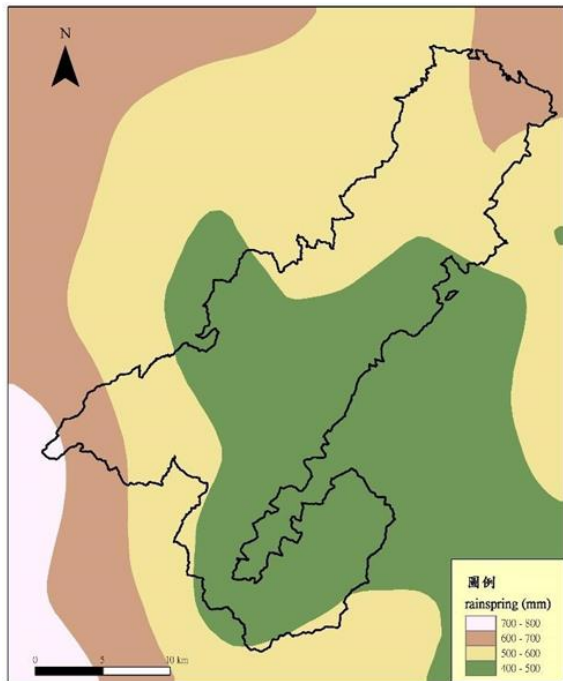
圖2、氣象站降雨溫度季節分布

3.2 棲蘭山野生動物保護區氣候特徵

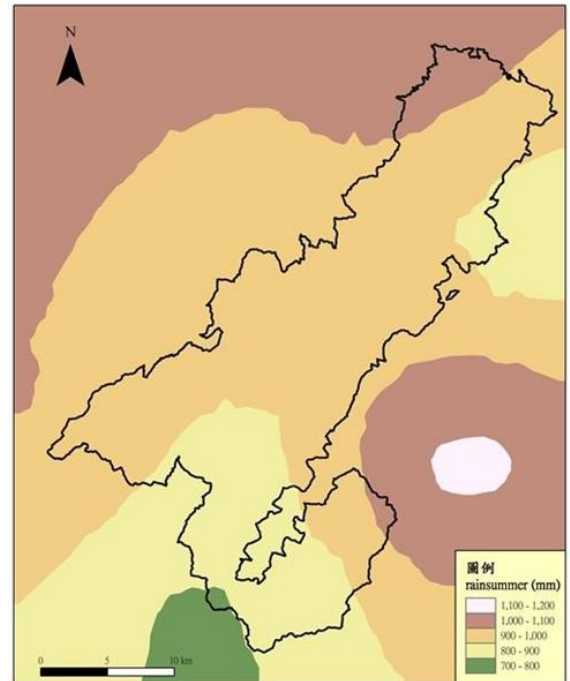
本研究 5 公里網格化資料是由科技部台灣氣候變遷推估與資訊平台產生 (TCCIP)，資料包含 1960~2012 年月最高溫、月最低溫與月平均溫、月雨量資料，資料網格使用氣象局局署與自動資料、航空局氣象站，缺漏資料部分以計算周圍測站權重修補。最後以這些點位以內插的方法 (Kriging) 製作成四季雨量、溫度圖 (圖 3 與圖 4)。

春季雨量在蘭陽溪流域上游較少約 400 毫米~500 毫米，大漢溪流域越往西側雨量越多，春季也為梅雨常發生期 (梅雨的關鍵因素為西南風再來是地形)，約 500 毫米~800 毫米；夏季雨量以太平山地區最高，保護區範圍約 900 毫米~1,000 毫米；秋季雨量明顯轉於東北部蘭陽溪流域雨量向西南向遞減，東北區域雨量在三個月可達 1,600 毫米~1,900 毫米，為此區最主要降雨季節，雨量最少區域也達 400 毫米~600 毫米。冬季風向通常吹東北季風，雨量在東北區域 580 毫米~680 毫米也是最明顯的；在區域中最低雨量約 265 毫米~540 毫米，也為各季節中最低的雨量位置。

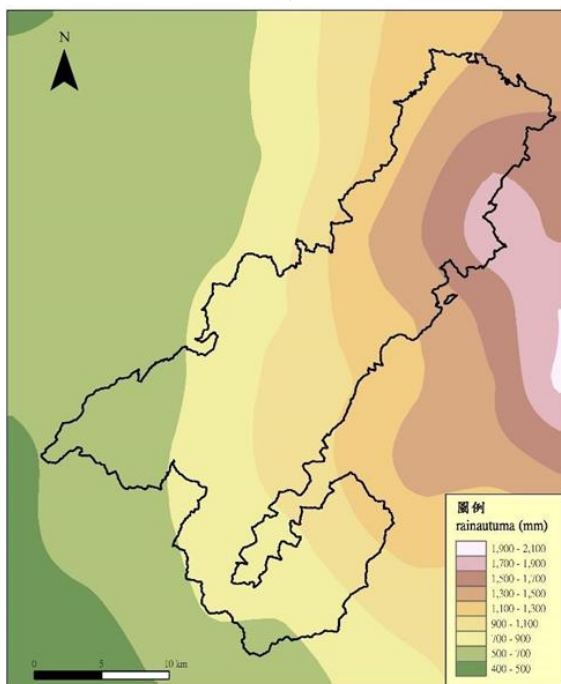
四季溫度特徵方面，1960~2012 年間春季平均溫度隨著高度增加而降低，範圍內最低溫度出現於東南角高度約為 2,700 公尺，溫度大約介於 7.9°C ~ 9.4°C ，最高平均溫度於蘭陽溪流域左側高度約為 (360 公尺)，溫度大約介於 17.2°C ~ 20.3°C ，高度溫差約為 15°C ，冬季溫度最低平均溫度全區不低於 1.6°C ，全年平均溫度溫差大約 15°C 左右。



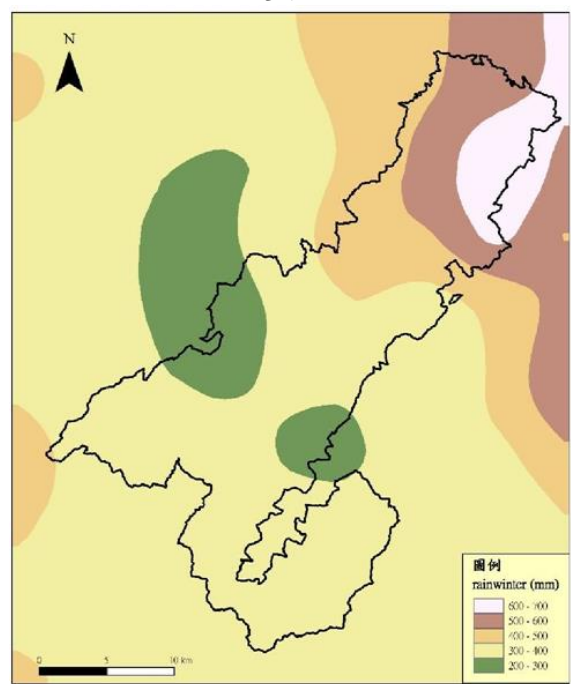
a. 春季雨量



b. 夏季雨量

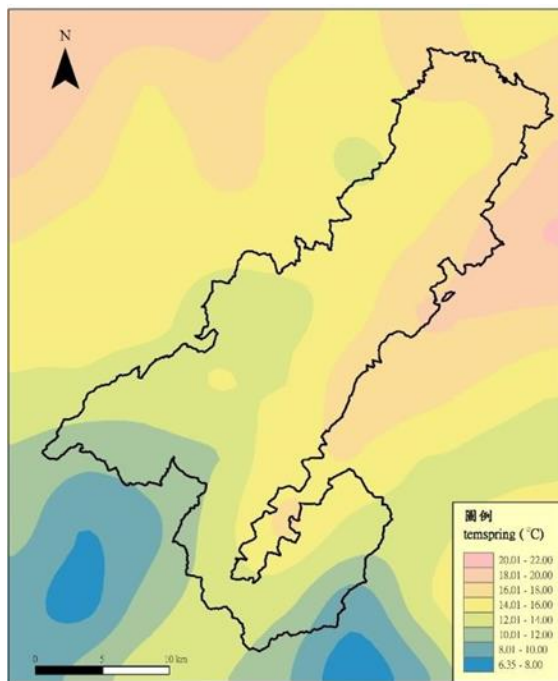


c. 秋季雨量

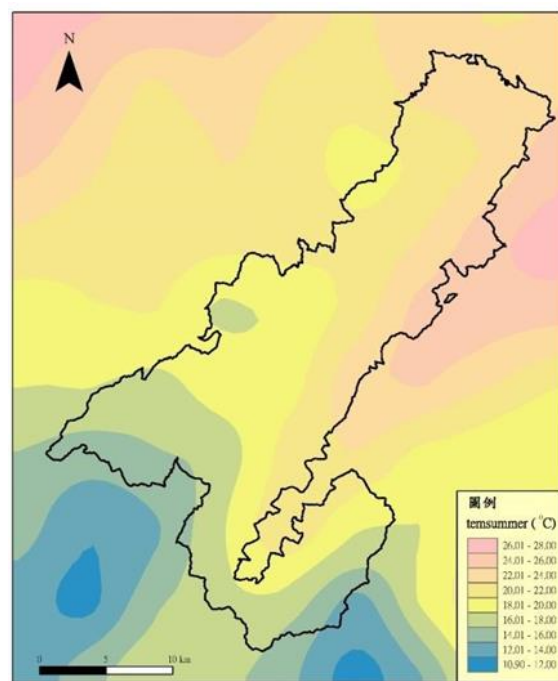


d. 冬季雨量

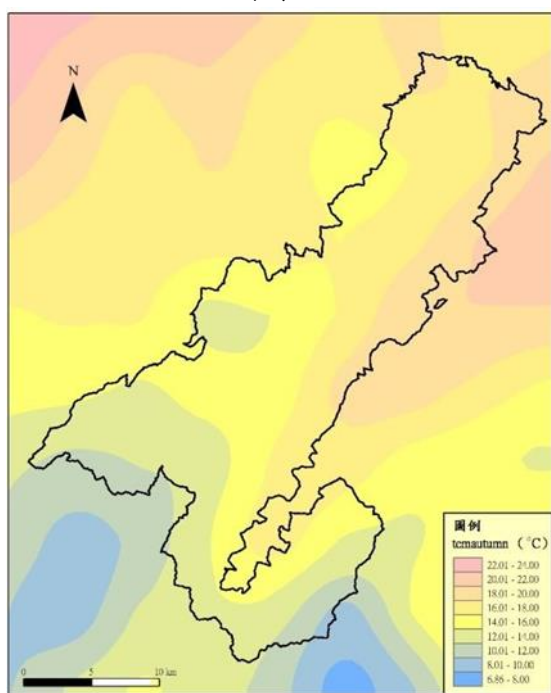
圖3、棲蘭山野生動物保護區降雨特徵



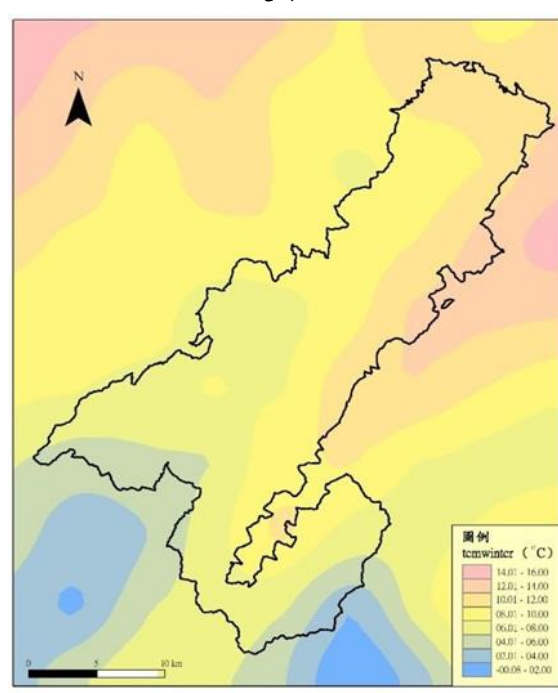
a. 春季溫度



b. 夏季溫度



c. 秋季溫度



d. 冬季溫度

圖4、棲蘭山野生動物保護區溫度特徵

3.3 天然檜木針葉林分布地形與氣候特徵

使用森林資源調查國有林土地利用型圖第三次調查成果 (1993)，所提供之面圖層資料，檜木天然針葉林屬性代碼為 013，分布狀況如圖 5，可明顯看出，檜木林主要生長分布於蘭陽溪中上游左岸，接近稜線一帶。本研究依據檜木天然林所在位置，高程資料、TCCIP 溫度與降雨資料，來評估天然檜木針葉林在地形與氣候特徵；當然這個結果可能受到人為伐木的干擾，導致評估上失準，但此分析數據可以顯示目前的分布條件及未來管理方向。依據數值高程模型資料 (使用由政府出版之數值高程模型 20 公尺 * 20 公尺) 作為研究區高程取樣基底與檜木天然針葉林分布位置疊合，評估不同海拔高度對應檜木林相對地出現頻度，其成果如圖 6、圖 7，海拔高度會決定植生的生長及分佈，1,700 公尺~2,500 公尺檜木針葉林主要分布區域，約占 75%。以坡向進行分析，主要坡向分布以西北 (16%)、北 (13%)、東北 (13%) 及東 (12%) 為主 (圖 8)。

在溫度方面，本區年均溫 $6^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之間，年雨量約為 3,000 毫米~4,200 毫米，春季高溫及低溫大約每上升 100 公尺下降 $0.28^{\circ}\text{C}\sim 0.38^{\circ}\text{C}$ 左右，氣溫下降不明顯，且都遠低於氣溫垂直遞減率每上升 100 公尺乾空氣約下降 0.98°C ，濕空氣 0.64°C 。

檜木天然針葉林各海拔雨量，檜木林針葉林季節雨量在高度的變化 (圖 9) 春 2~4 月、夏 5~7 月、秋 8~10 月、冬 11~1 月，在全年平均降雨部分約 2,300 毫米~3,700 毫米，高度影響降雨不明顯，檜木林主要雨區為 700 公尺~1,300 公尺。春季在海拔 1,500 公尺~1,900 公尺呈現雨量下降，到了 2,000 公尺又開始增加與其他季節較不同，此結果顯示儘管春季的雨量減少，但不以作為檜木林生長的限制；秋季為主要降雨季節(圖 9c)，秋季雨量隨海拔增高而減少，在 1,200 公尺下秋季雨量可以達 1,400 毫米以上，在檜木針葉較密集區域約有 700 毫米~1,000 毫米。在各季節上在高度 900 公尺~1,600 公尺雨量都明顯較多，為最主要雨區，但大多數所指的雲霧帶為 1,500 公尺~2,500 公尺，兩者之間有所不同。

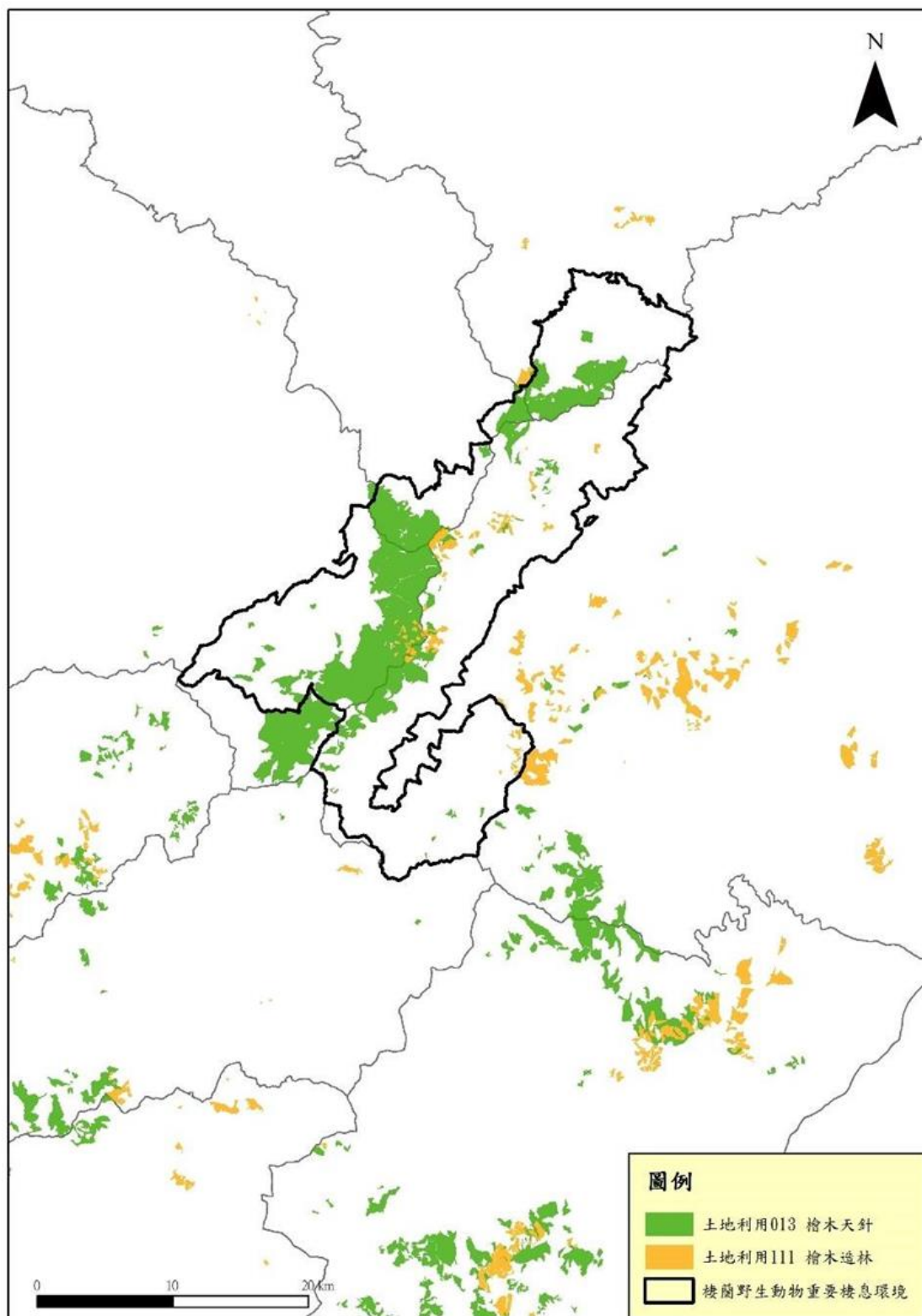


圖5、森林資源調查國有林地土地利用檜木天然林、造林分布圖

北臺灣檜木植群分布圖（1993）

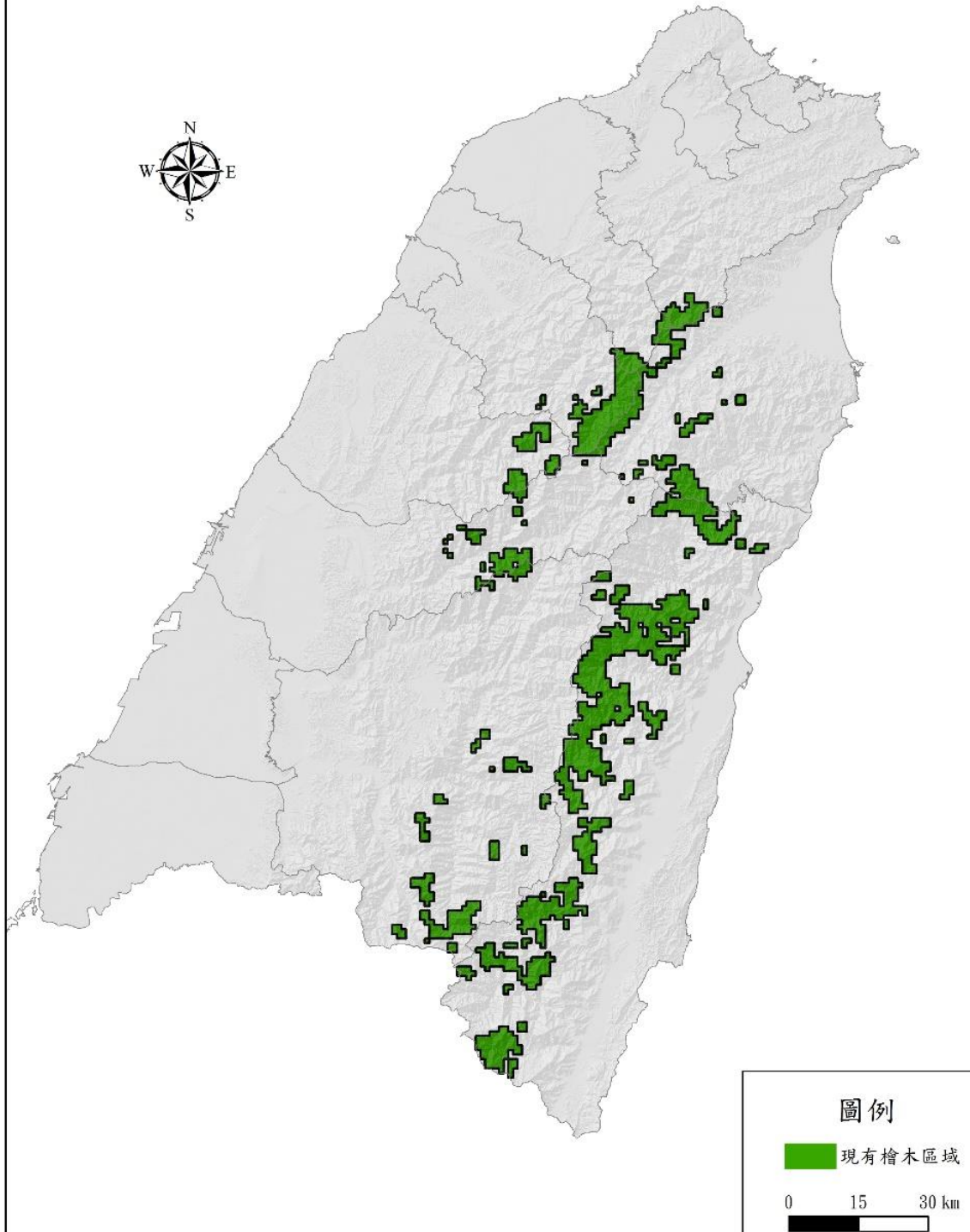


圖6、北臺灣檜木植群分布概況（1993）

資料來源：森林資源國有林土地利用第三次調查

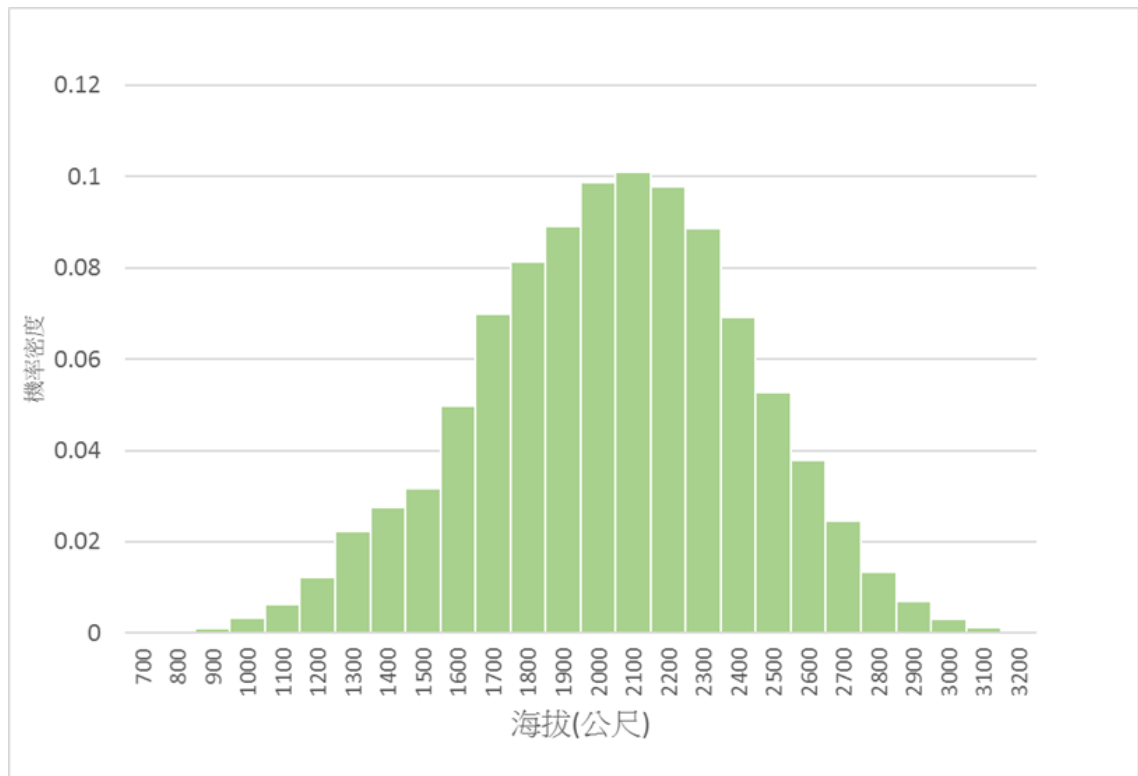


圖7、檜木天然針葉林海拔與面積機率密度

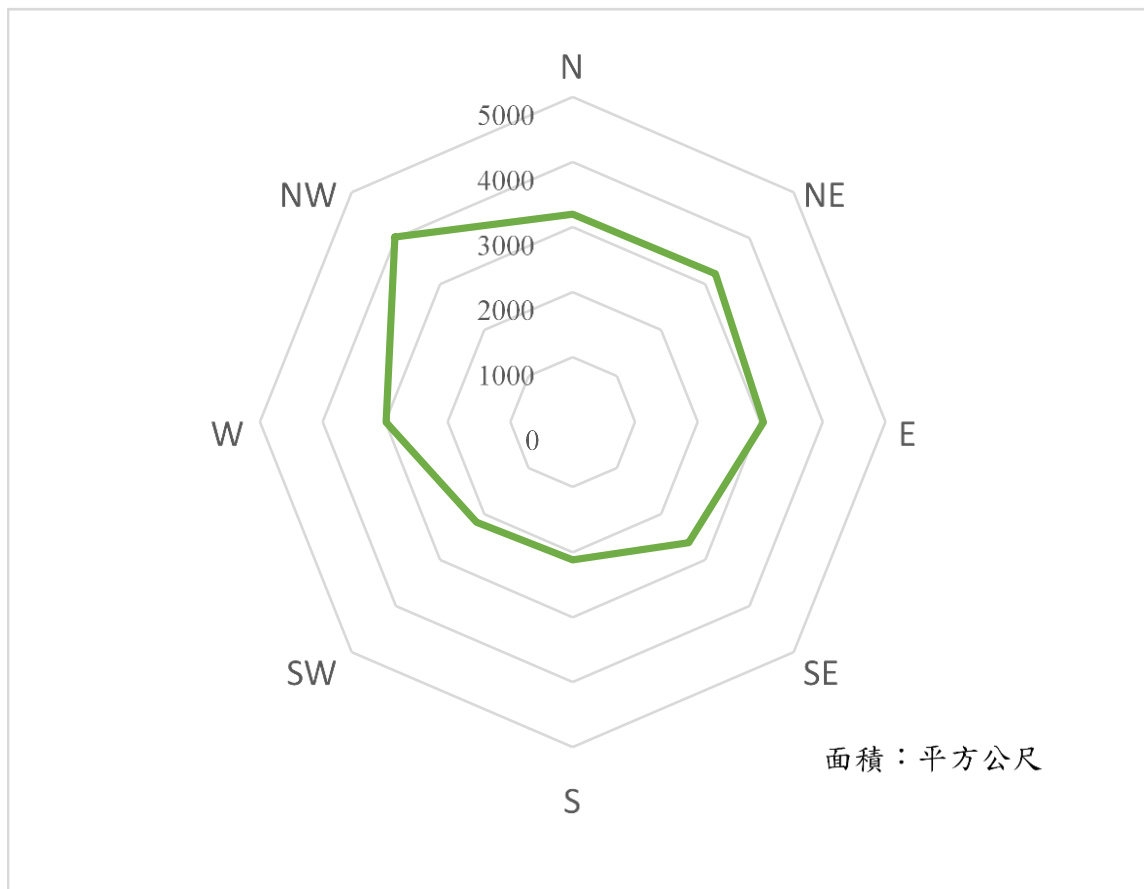
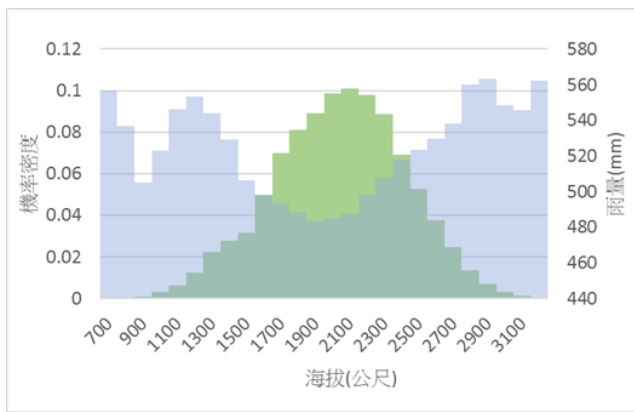
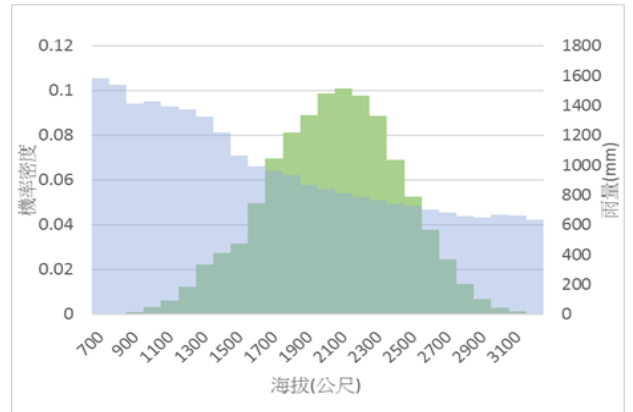


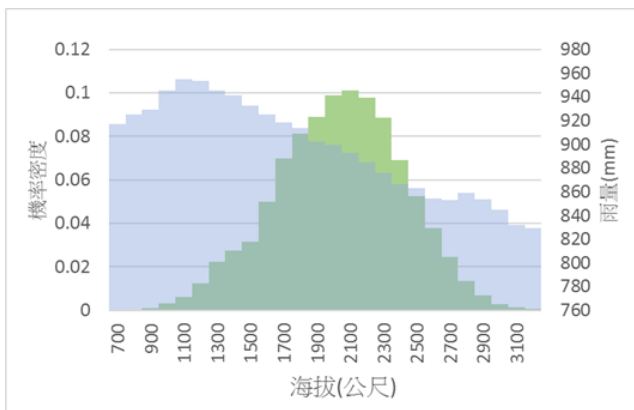
圖8、檜木天然針葉林分布坡向圖



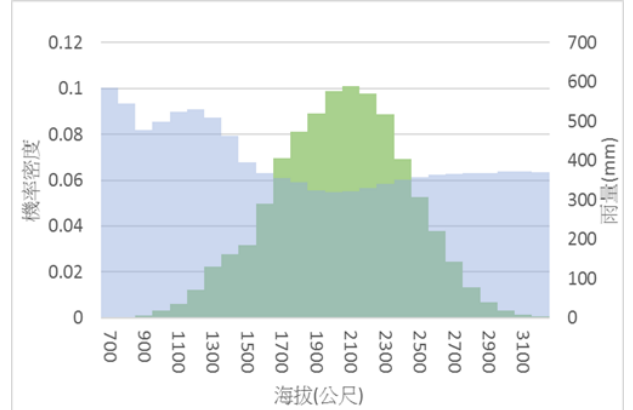
a. 春季



b. 夏季



c. 秋季



d. 冬季

圖9、棲蘭山檜木林全年雨量在高度的變化

3.4 日本白神山地、美國紅木公園與台灣棲蘭山林氣候比較

為有效分析出檜木生長氣候的適地性，本研究除使用研究區之溫度、雨量等氣候資料外(1981~2010)，也從具有相同扁柏屬植群的日本白神山地、美國紅木公園兩地之氣候資料進行分析與比較。依據日本國土交通省國土政策局國土情報課網站所提供之開放資料(2010)顯示，在白神山地區，年均溫在 8.7°C、全年平均高低溫差在 8.3°C、夏季均高溫在 20.8°C、冬季最低溫達 -3.0°C(圖 10)，而年均降水量約在 1,600 毫米(圖 11)；依據美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的資料顯示(1981~2010)，在美國紅木公園年均溫在 10.6°C、全年平均高低溫差在 10.4°C、夏季均高溫在 18.1°C、冬季均低溫達 3.0°C(圖 12)，而年均降水量約在 1,700 毫米(圖 13)。台灣棲蘭山林的部分，年均溫在 14.4°C、全年平均高低溫差在 8.1°C、夏季均高溫在 24.4°C、冬季均低溫達 4.9°C(圖 14)，而年均降水量約在 2,900 毫米(圖 15)。

由上述資料可發現，三地植群生長之氣候條件有相似之處，如三區各季之平均高低溫差皆穩定在 6~10°C 之間。美國紅木公園與台灣棲蘭山區兩地間所處地理區位皆受到太平洋調節，兩地各季溫差趨勢相近；美國與日本兩地間因所處緯度相似，在氣溫方面冬、春兩季與夏、秋兩季間的溫差皆較不明顯；而台灣因處亞熱帶氣候區，各季溫差相較美國、日本兩地較為不明顯。

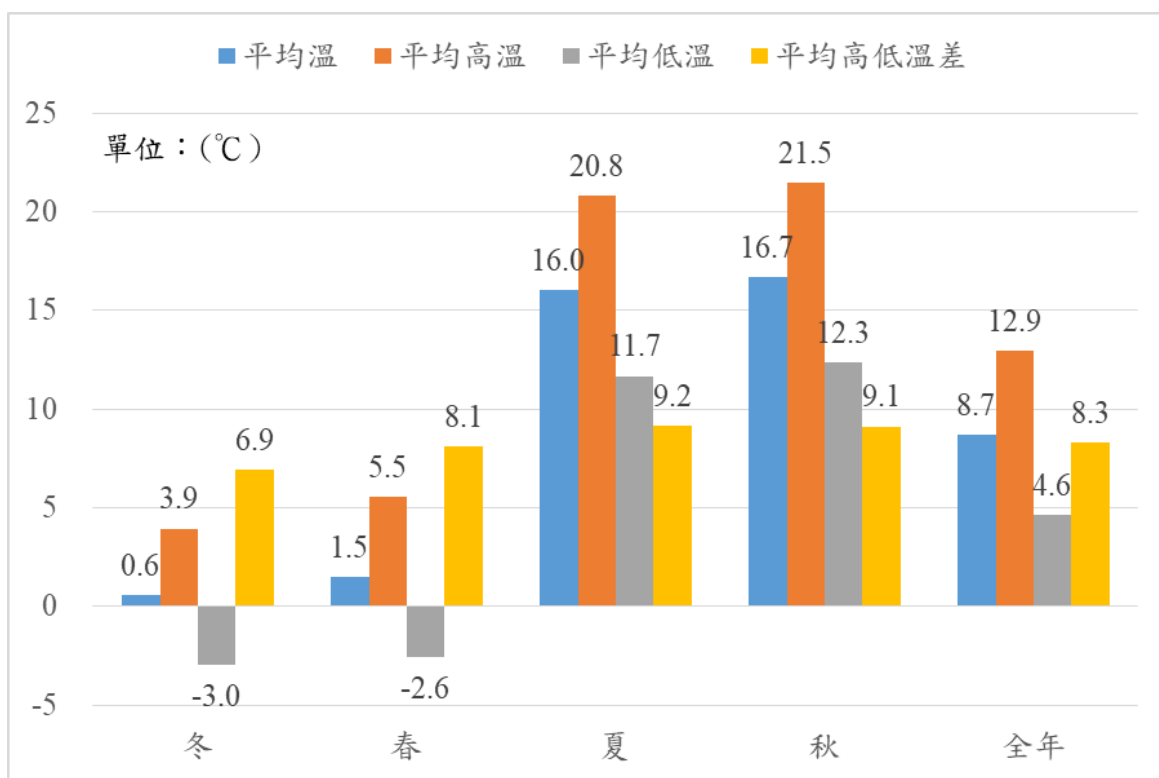


圖 10、日本白神山地區域四季氣溫趨勢圖

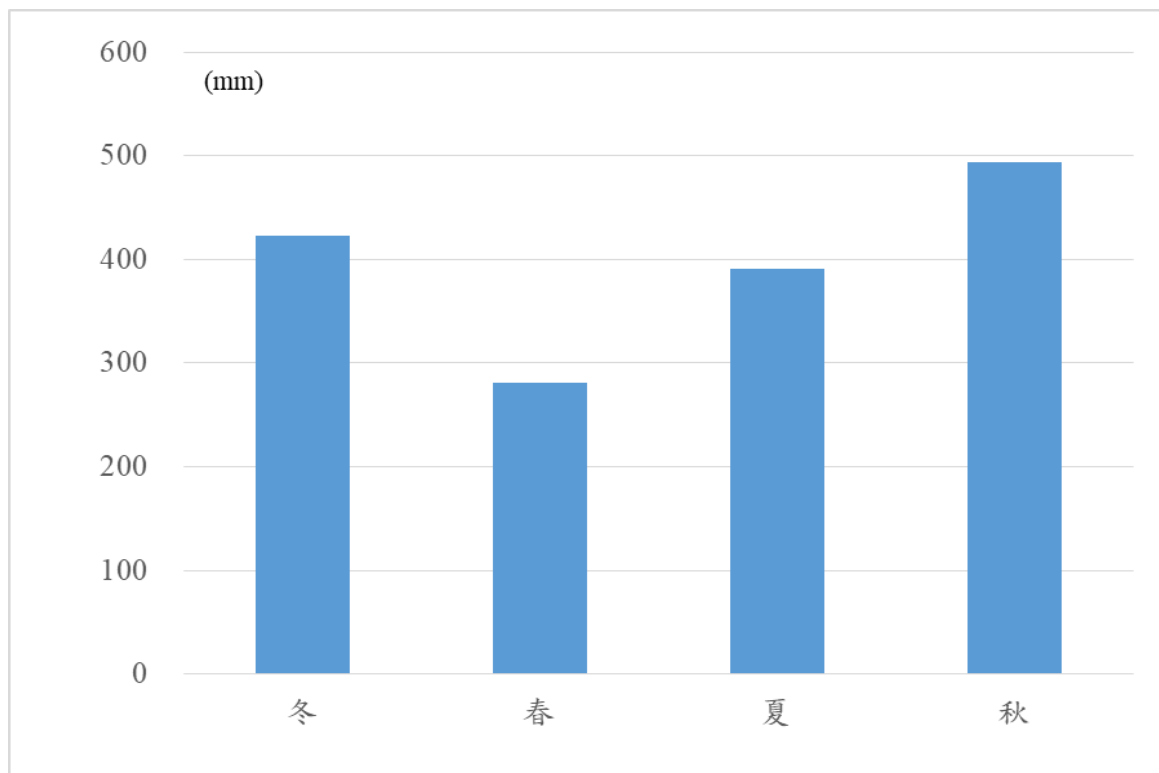


圖 11、日本白神山地區域四季平均降水量圖

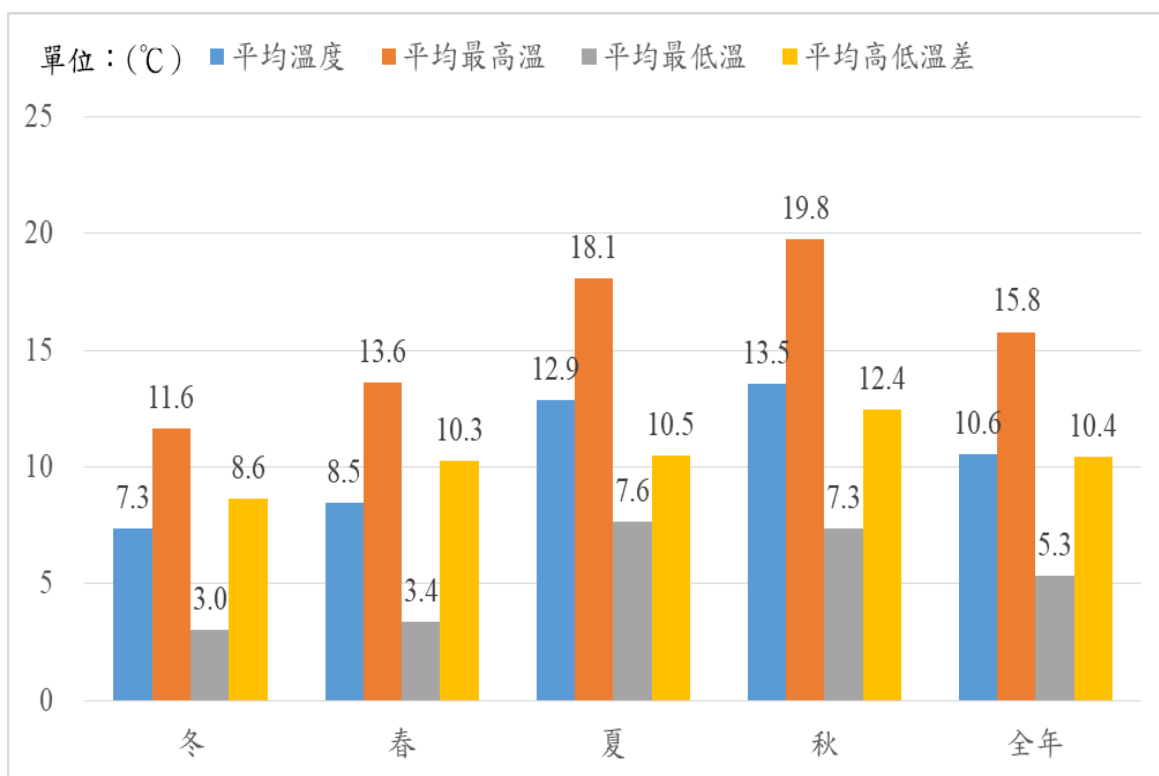


圖 12、美國紅木公園四季氣溫趨勢圖

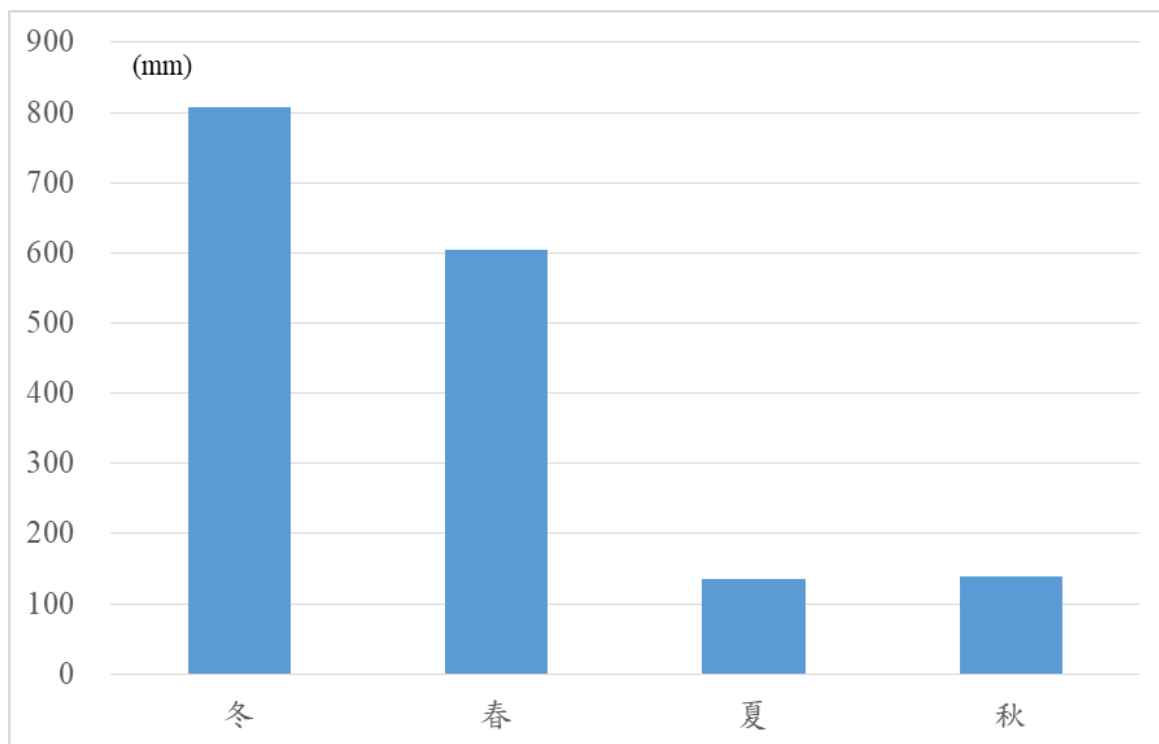


圖 13、美國紅木公園四季平均降水量圖

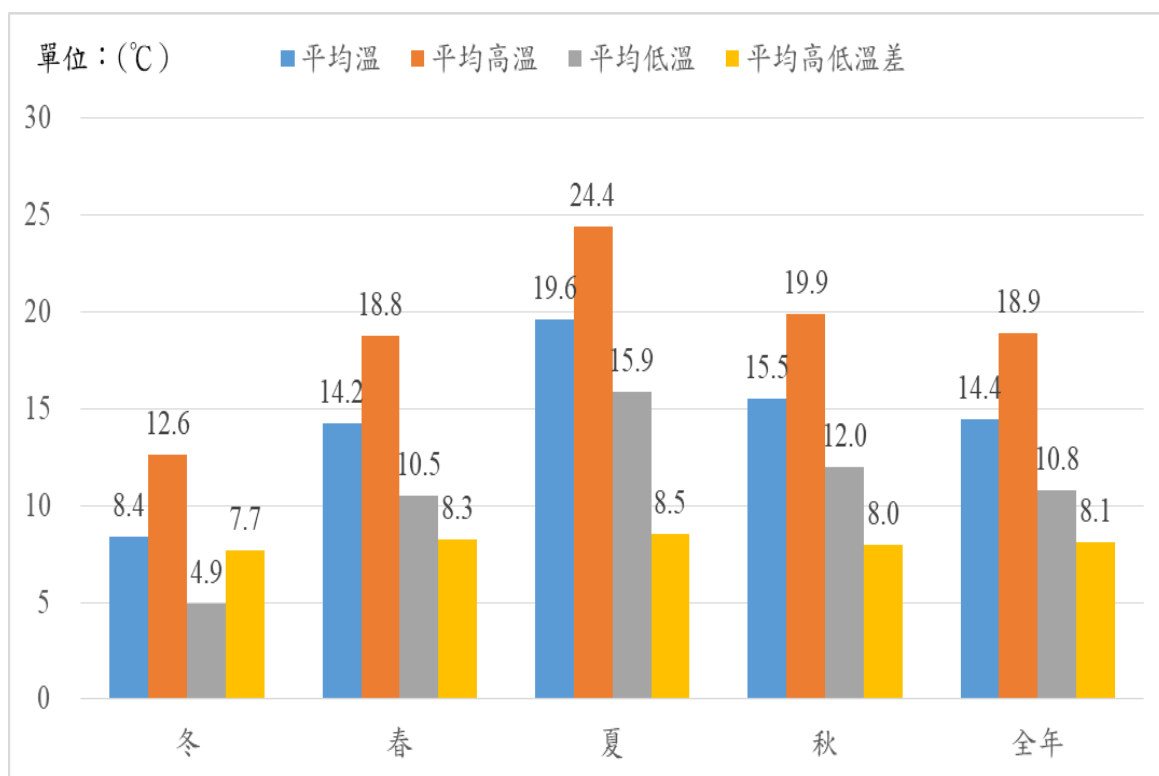


圖14、台灣棲蘭山區四季氣溫趨勢圖

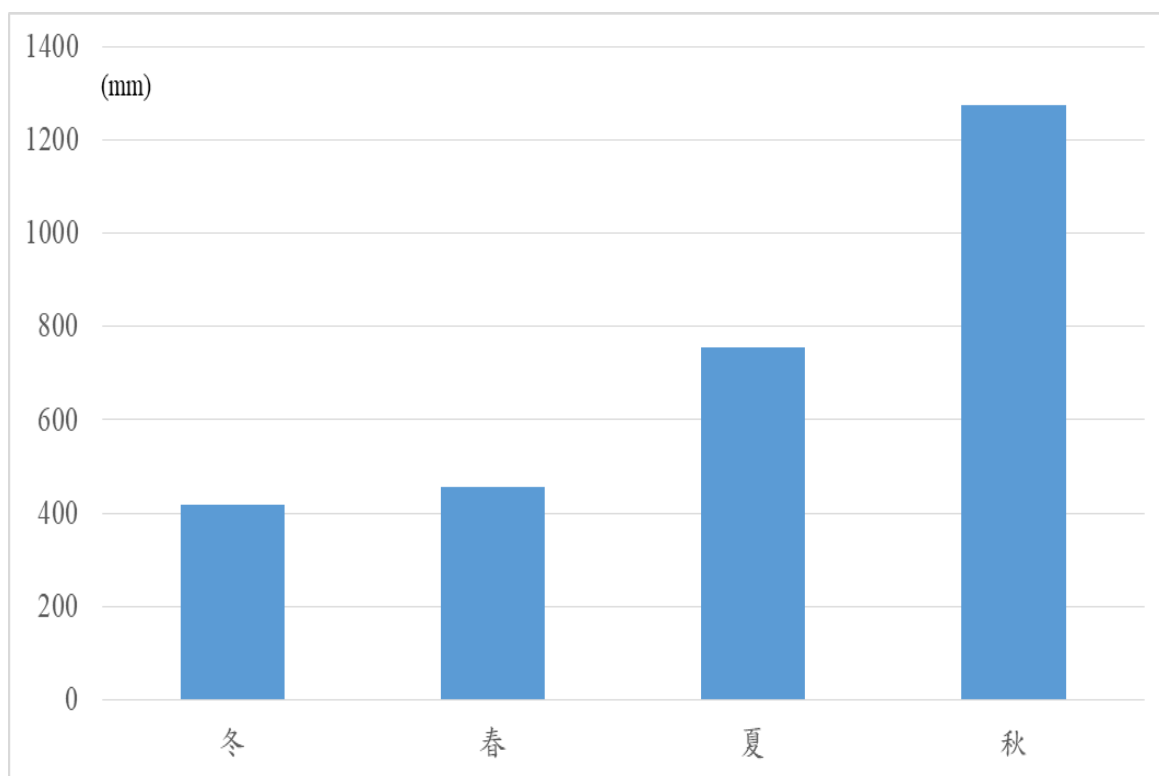


圖15、台灣棲蘭山區四季平均降水量圖

第四章 雲霧帶氣象資料分析

4.1 氣象資料

為評估雲霧的空間分布，本研究以衛星影像資料、大氣壓力圖與逐時溫度、風速、風向及濕度資料評估。衛星影像資料評估雲霧的空間分布、大氣壓力圖評估大氣環境，逐時氣象資料評估雲霧的動態變化。目前蒐集 2014 年資料包括 4/11、7/21、10/15 與 12/6 四日資料，氣象逐時資料以衛星影像日前後 24 小時蒐集，每一張衛星影像配合 72 小時逐時氣象資料；以 4/11 為例，如圖 16、圖 17、圖 18。依據目前資料特性，除局屬氣象站外，逐時資料較完整只有溫度、風速與風向等資料，濕度資料僅有福山與下盆兩站，資料相當有限目前僅可獲得概括資訊，包括在白天地表加熱過程的溫度升高、風速較低、在中午過後風速逐漸增加，在雲霧出現初期大致與衛星影像觀測時間相同，主要發生為中低海拔位置，相對溼度逐漸增至夜間相對濕度皆呈現近乎飽和狀態。同時比對逐時資料可以發現，目前衛星影像時間約下午兩點，此時溫度多落於中午高溫後，且溫度已經開始下降；在海拔較高的位置風速增加，平地增加較不明顯；在風向方面，在海拔較高的位置風向產生明顯變化。

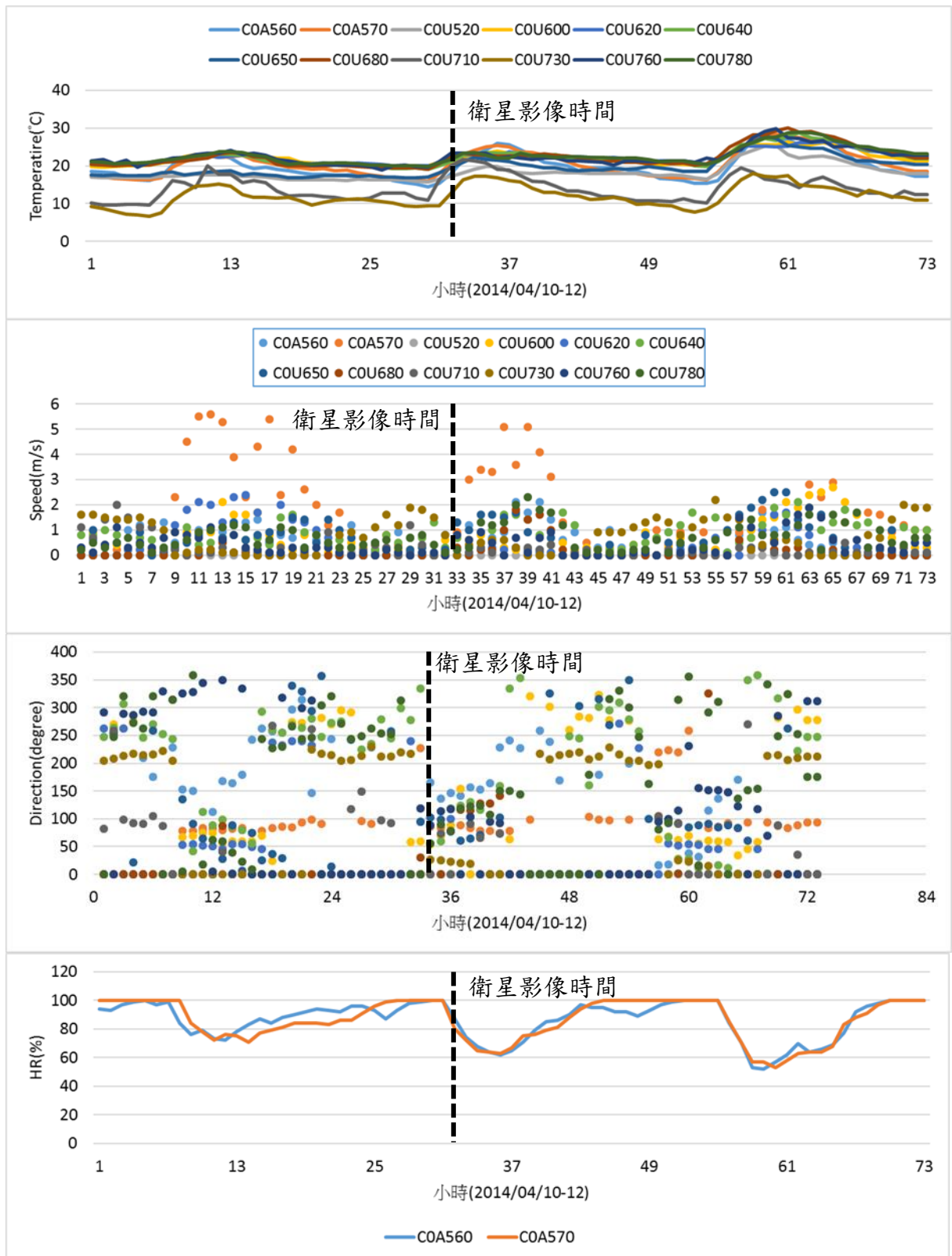


圖16、逐時氣象資料 (2014/04/11)

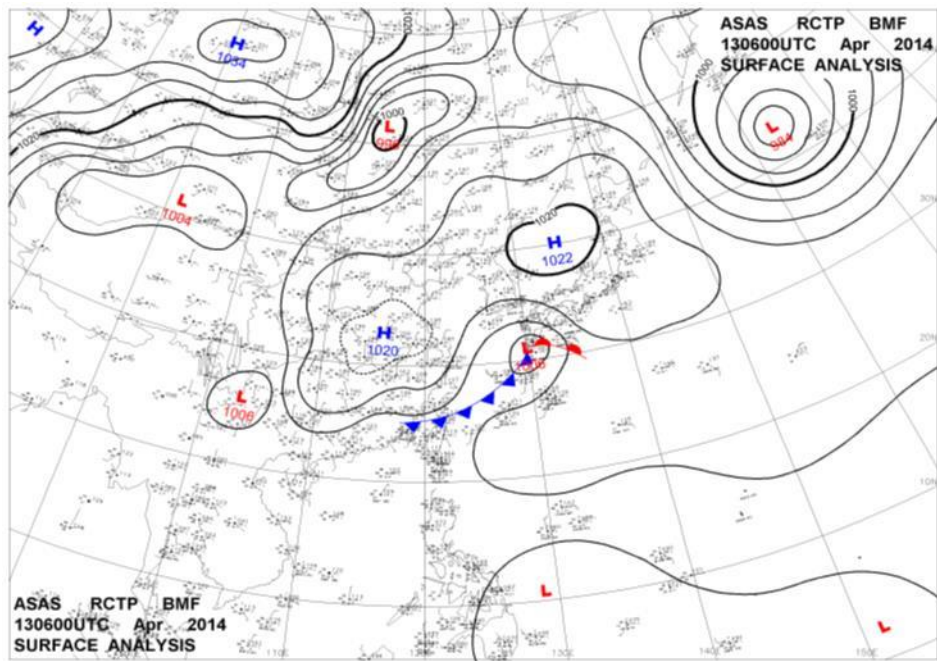


圖17、地面氣壓圖 (2014/04/11)

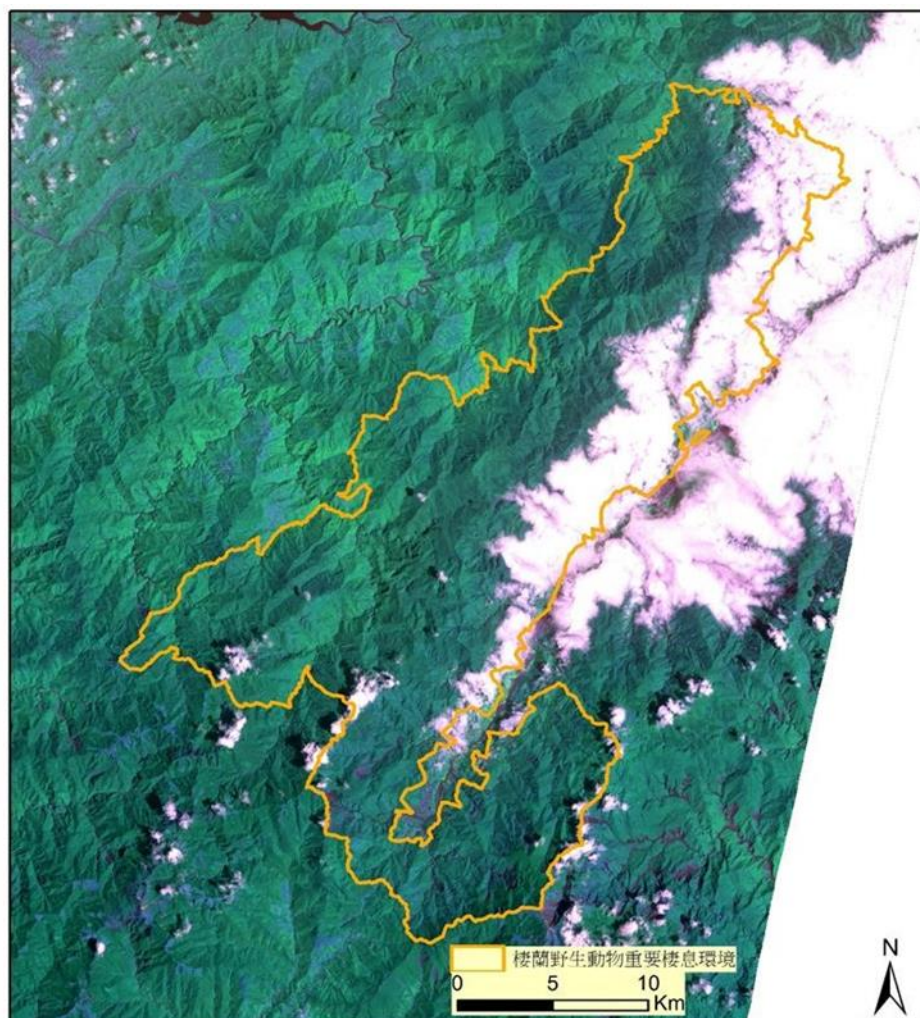


圖18、SPOT 衛星影像資料 2014/4/11 (01:55)

4.2 衛星影像資料評估

1. 衛星影像雲霧分類判釋方法

霧與雲主要成因有兩種第一是地面空氣受到太陽輻射後上升，但越往上升溫度越低也越來越容易達到飽和，就凝結成水。第二是海陸風的交替產生的雲霧通常在海島及近海地區，又因地形特性（蘭陽溪谷風爬升）產生明顯雲霧帶，再來就是東北季風迎風面產生的舉升作用產生雲霧及高壓迴流。在雲霧判釋方法中也有許多方法已被討論如以近紅外光的特性、監督式非監督式分類、閾值選取、NDVI 方式等，初步以近紅外線及非監督式分類做比較，最後以人為精度以人為判釋做為準確度評估依據，整體工作流程見圖 19。

使用 Iso Cluster Unsupervised Classification 方法使用 SPOT6 影像，比較分 5 類（圖 20）及 10 類的效果（圖 21），結果顯示分類數越多效果越好。紅外線域閾值法經不斷測試選出最適門檻值，可能因每張影像而有不同效果，所以在不同影像時需要重新測試，許多研究會將波譜值以直方圖表示並統計平均數標準差再將雙峰部分做切割，圖 22 分別為近紅外門檻 250、200、180，結果顯示在薄雲方面較無法精確判釋。

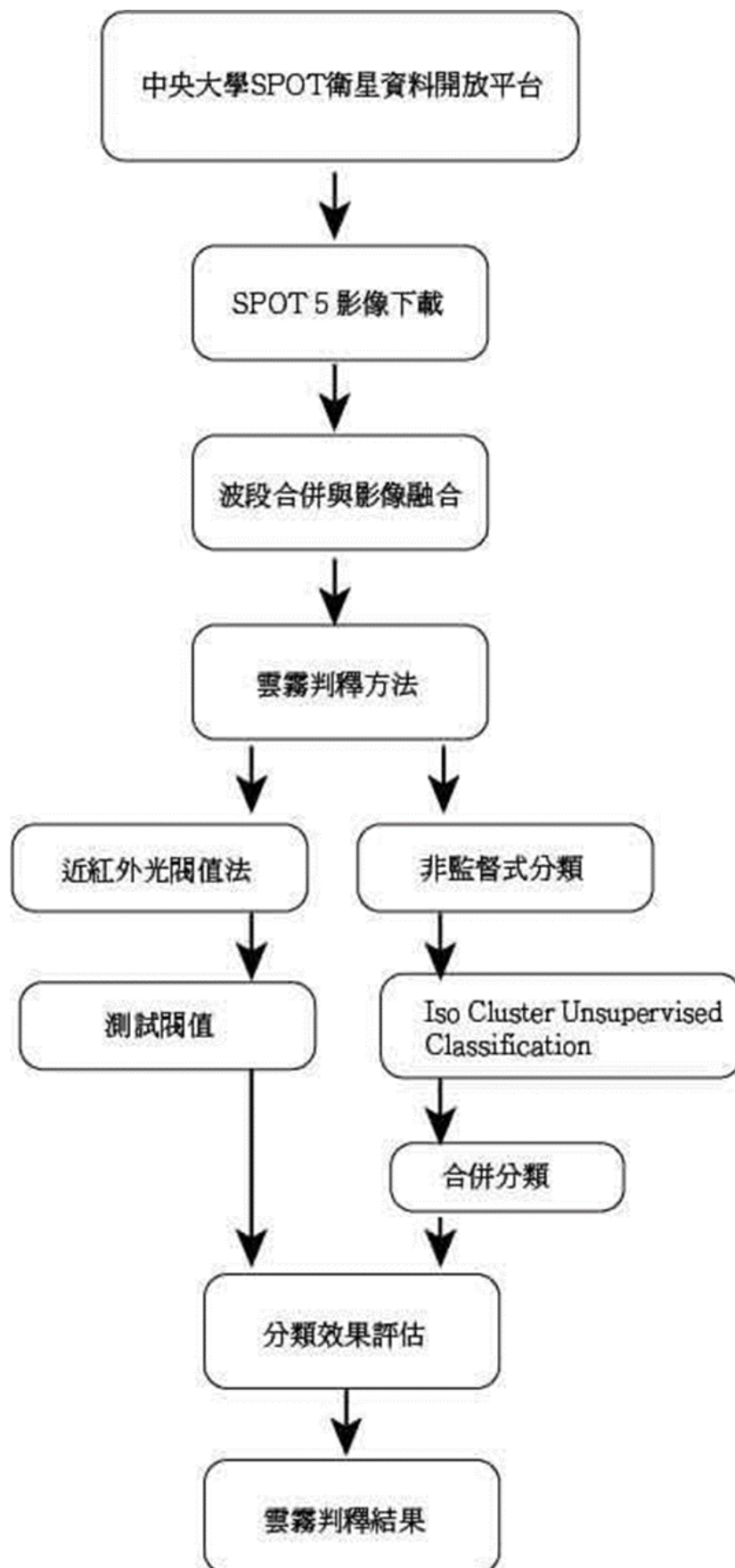


圖19、SPOT 衛星影像資料評估流程

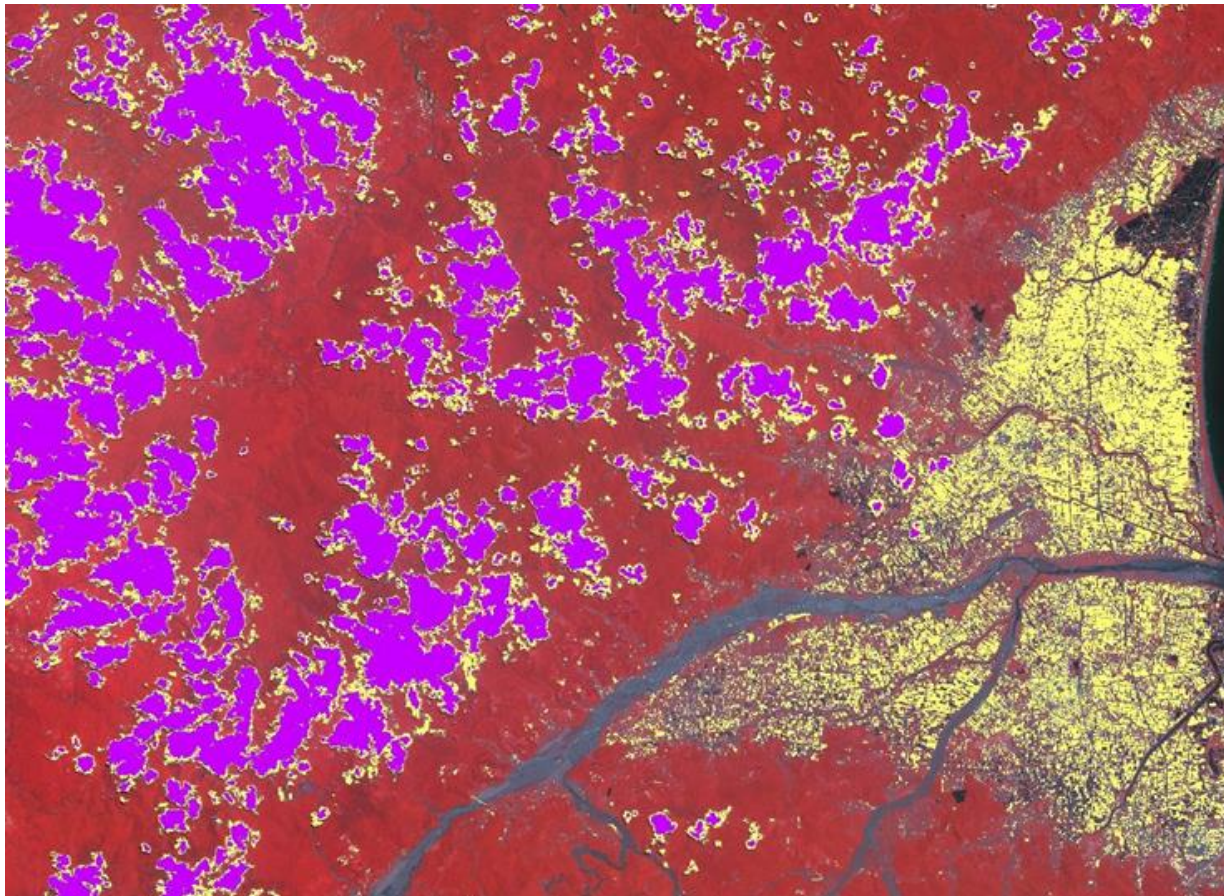


圖20、非監督式方法分5類（紫色為雲霧、黃色為建物）

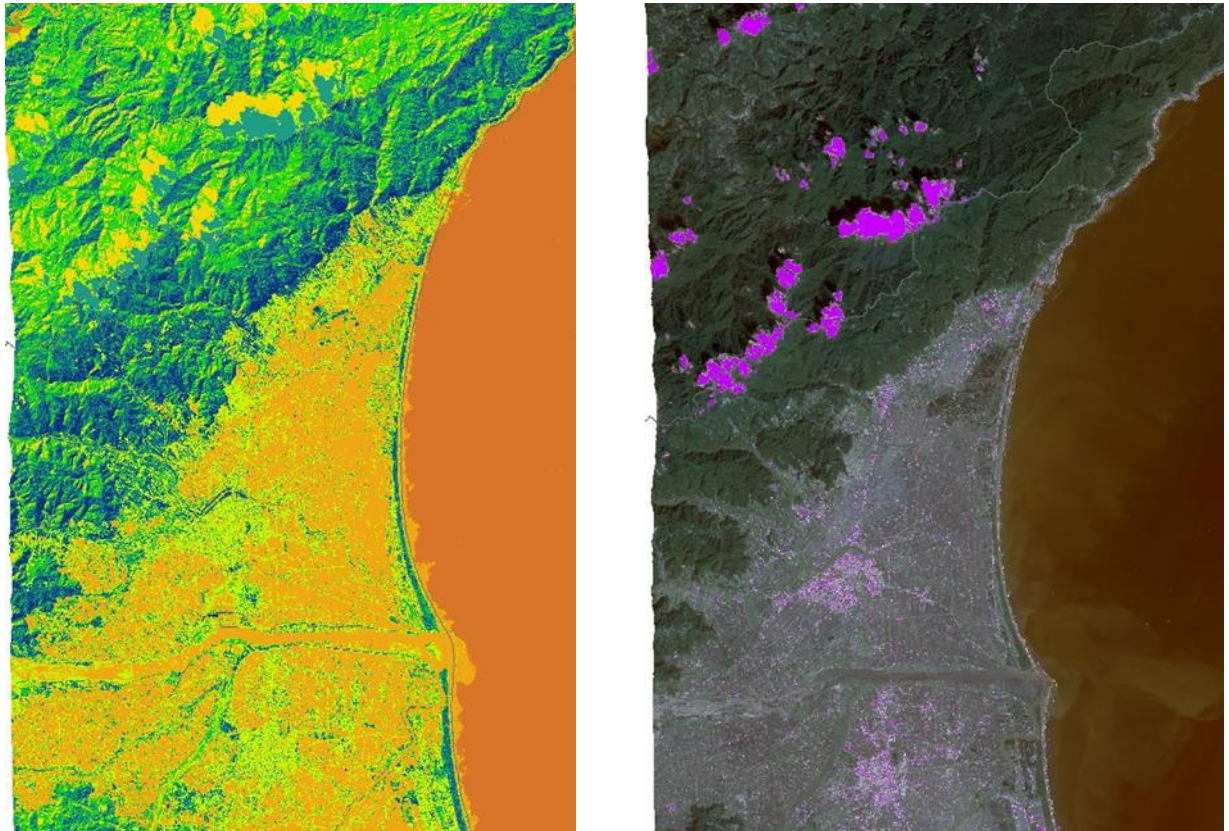


圖21、非監督式方法分10類（左圖為分類結果、右圖紫色為雲霧區）

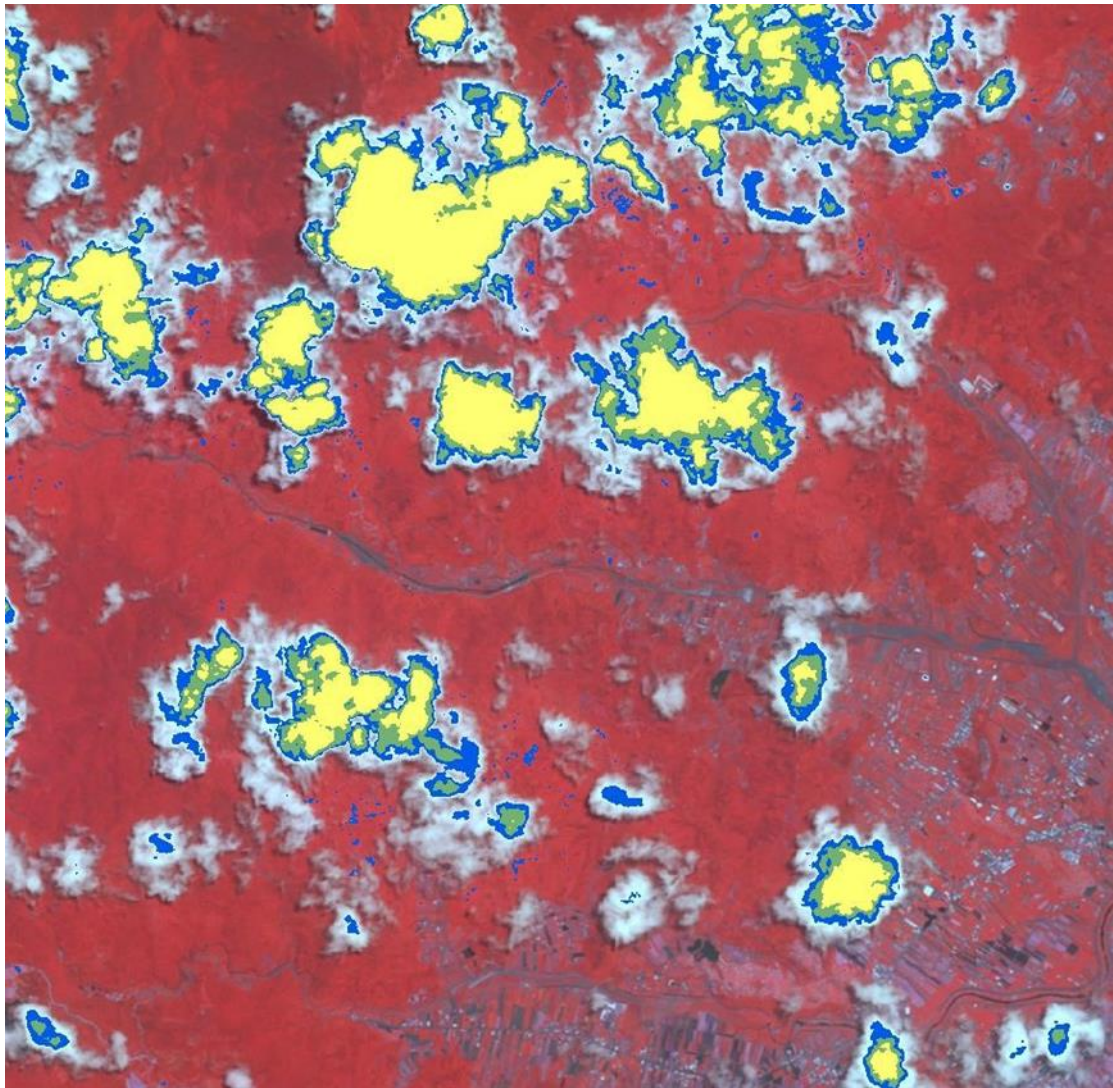


圖22、近紅外門檻 250 (藍)、200 (綠)、180 (紅)

2. NOAA 雲霧評估

Thies et al. (2015) 曾利用 MODIS 逐日 (每日兩張) 的衛星影像資料，解析度為 1km×1km，分析台灣地區低雲的發生情形，並探討與熱帶雲霧雨林之關係 (2003~2012)；結果顯示，低雲的發生頻率與特定雲霧森林的型態有關，山地落葉林水青岡與扁柏屬混和林，皆具有一定關聯性，其中又以山地落葉林水青岡為高。本計畫將前述取得之衛星影像資料 (表 1) 做低雲的分析，結果圖 23 及圖 24。

表1、衛星影像影像資訊

取得日期	取得時間	sun azimuth	sun elevation	incidence angle	orientation
2014/4/11	01:55	116.238	56.446	-7.075	12.75
2014/10/15	01:46	136.938	46.2246	0.542	13.06
2014/12/6	01:42	145.03	34.07	0.606	12.99

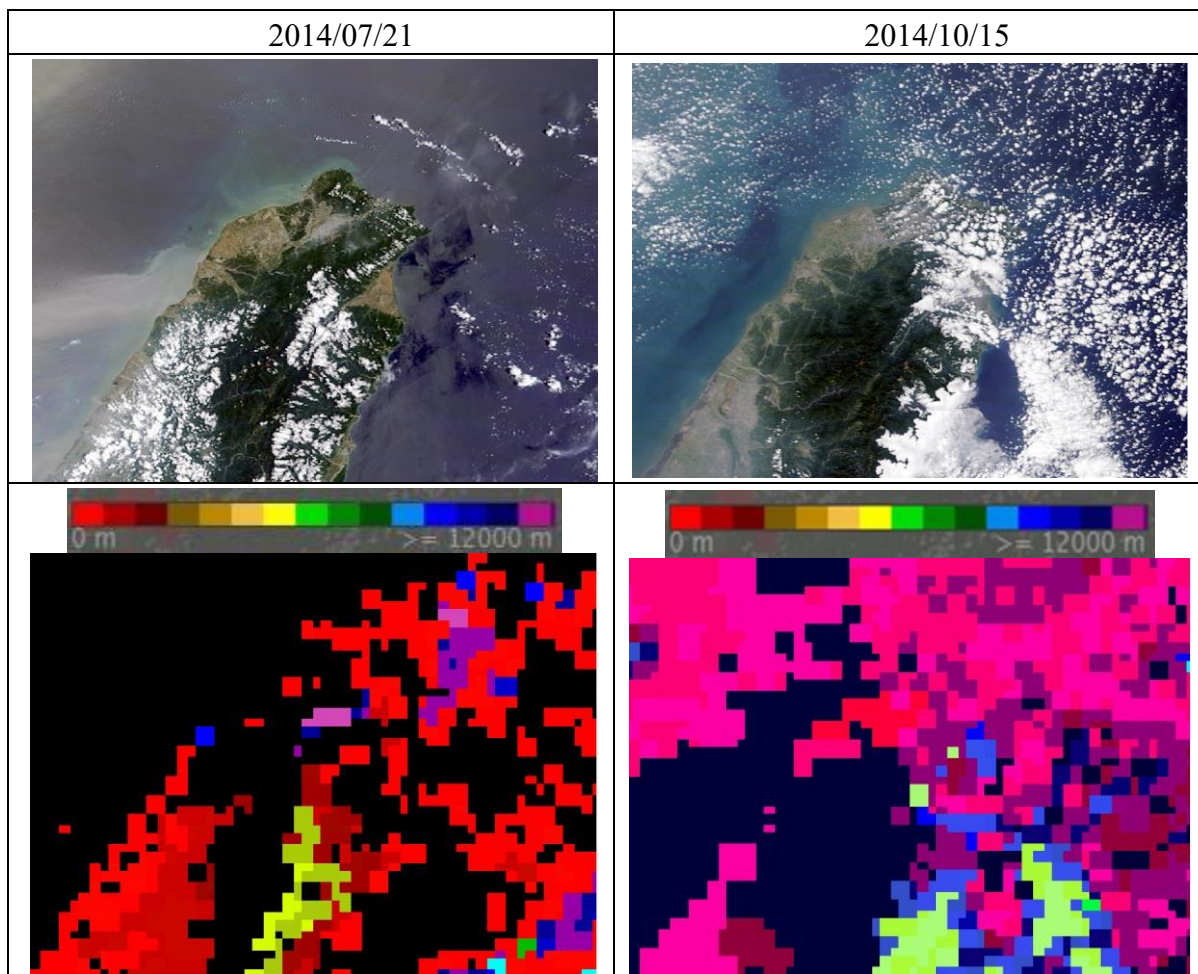


圖 23、NOAA 雲高 (a)

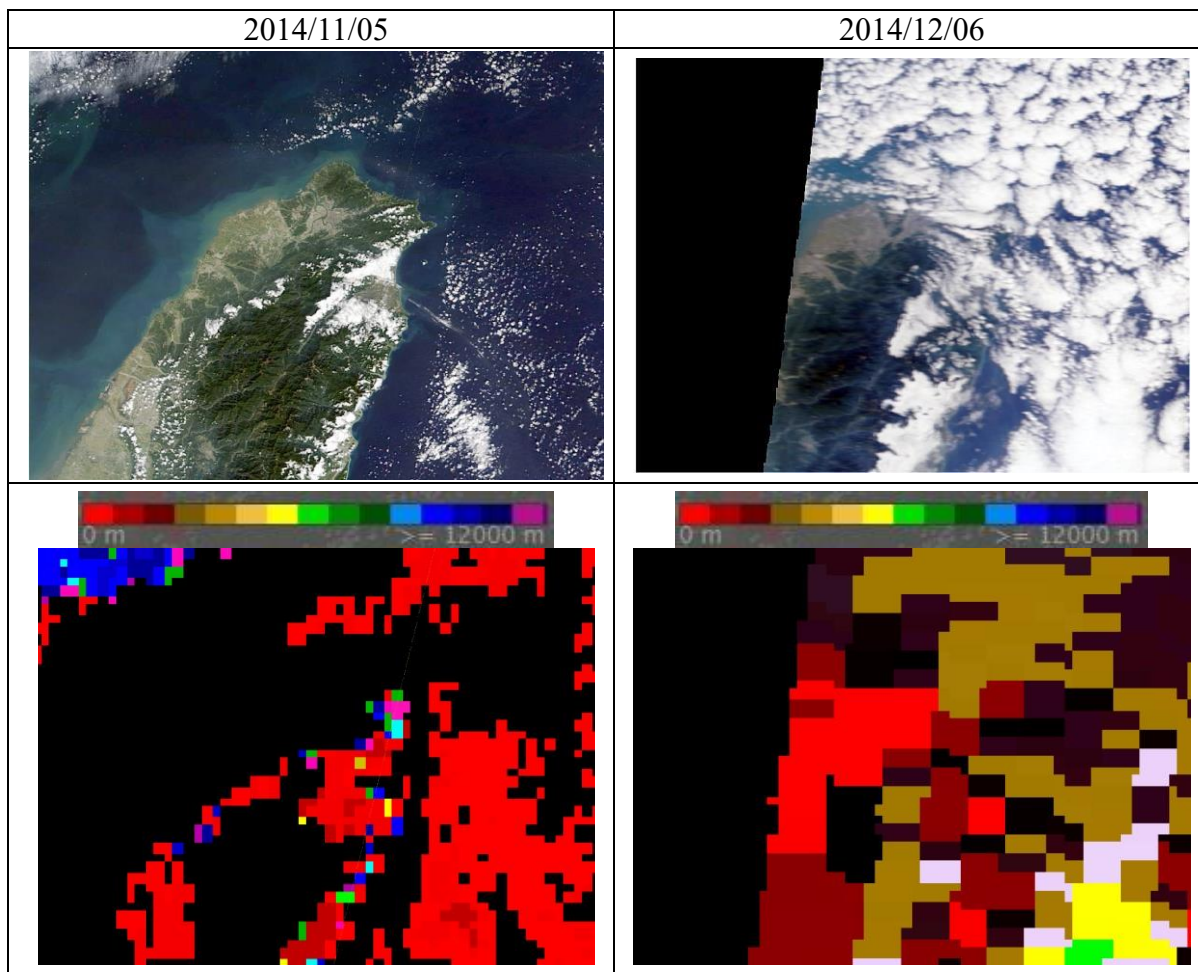


圖 24、NOAA 雲高 (b)

4.3 世界雲霧森林中棲蘭山檜木林

Jarvis & Mulligun (2011) 分析由 UNEP-WCMC 所描述的 477 座雲霧森林資料與 WorldClim database，其中雲霧森林的範圍十分的廣泛 (220 公尺~5,005 公尺)，而且也因為區位的不同而有所差異；平均而言，溫度約 17.7°C，降雨量約 2000 毫米；除此之外，雲霧森林有些呈現季節性有些則不是。雲霧森林相較於一般山地森林而言，雨量較多，每年約增加 184 毫米，溫度較低約減少 4.2°C，季節性的變化較山地森林為低。而與一般山地森林的最重要的差異，依序為最高溫度>平均溫度>降雨量>雨量變化的季節性；而絕大部分的雨量都鄰近於海岸 350 公里內；雲霧森林往往伴隨著地形起伏較大的區域與不同大小的山區；也因此，雲霧森林往往發生在沿岸氣候，且環境上具有較低的平均溫度與最高溫度。該研究進一步分析了 14 個較密集之地區，來了解雲霧森林的溫度與降雨特徵。雲霧森林主要好發地區的年降雨量約為 2,000 毫米~2,600 毫米，年平均溫度 14°C~18°C；表 2 為 Jarvis & Mulligun (2011) 所分析的雲霧森林主要環境因素，本研究納入棲蘭山檜木的氣象特徵，溫度差仍低，小於亞洲雲霧森林的平均數，大致與鴛鴦湖相近 (表 2)。

表2、雲霧森林主要環境要素

地區	年雨量 (mm)	年平均 溫度 (°C)	最高 溫度 (°C)	最低 溫度 (°C)	溫度 差 (°C)	季節 指數	海拔 高度 (m)	距海 距離 (km)
拉丁美洲+夏威夷	1,779	17.48	22.60	12.31	10.29	0.35	1747	121.57
非洲	1,489	18.36	23.53	13.13	10.40	0.39	1619	135.22
亞洲	2,150	17.63	22.23	12.98	9.26	0.30	1687	56.90
鴛鴦湖	2,774	12.73	15.31	10.13	5.18	0.28	1862	43.18
棲蘭山檜木林	2,796	13.46	17.37	9.55	7.82	0.30	2045	41

第五章 檜木林最佳復育場址分析

將由文獻整理、分析得知的氣候因子、檜木植群高程分布因子，以及 MODIS 所得到之雲霧帶因子等，分別進行決策樹 (Decision Tree, DT) 及主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 後，用所得到之決策重要因子、主成份因子，再分別進行地理加權迴歸分析 (Geographically Weight Regression, GWR)。最後，將兩種決策方式所呈現之分布預測圖進行疊圖分析，推估之檜木林植群在其適宜生長的分布條件，以最後後續復育地點選擇的依據。

5.1 決策樹 (Decision Tree, DT)

決策樹是機器學習的其中一種，主要的方法是用現有資料的學習，透過一種或多種組合資料學習與推論出分類規則，是一種監督式學習法 (supervised learning)，特色是能從一個大量的、不完全或有雜訊的資料中發現隱含的規律並以建立一株代表分類模型，而一株樹狀結構包含中節點 (non-leaf nodes)、分支 (branches)、葉節點 (leaf nodes)，結果以樹狀的圖形來表示。

決策樹以 C5.0 方法，可以處理的資料型態為類別與連續資料，分枝方法以資訊獲利 (Information Gain) 為準則，總樣本數為 13584 筆，檜木林為 1036 筆，並設定以最小子枝 10 筆來控制決策樹的生長 (圖 25)。使用的因子包含年均溫度、年均雨量、年均最高溫、年均最低溫、年均溫差、各季均溫、各季溫差、各季平均雨量、高度、雲霧發生機率、現有檜木林面積。

5.2 主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)

主成分分析 (PCA) 是一種分析、簡化數據集的技術。主成分分析經常用於減少數據集的維數，同時保持數據集中的對變異數貢獻最大的特徵。其方法主要是通過對共變異數矩陣進行特徵分解，以得出數據的主成分 (即特徵向量) 與它們的權值 (即特徵值)。本研究將年平均溫度、年均雨量、年均最高溫、年均最低溫、年均溫差、各季均溫、各季溫差、各季平均雨量、高度等因子、雲霧發生機率，與現有檜木林面積進行主成分分析。

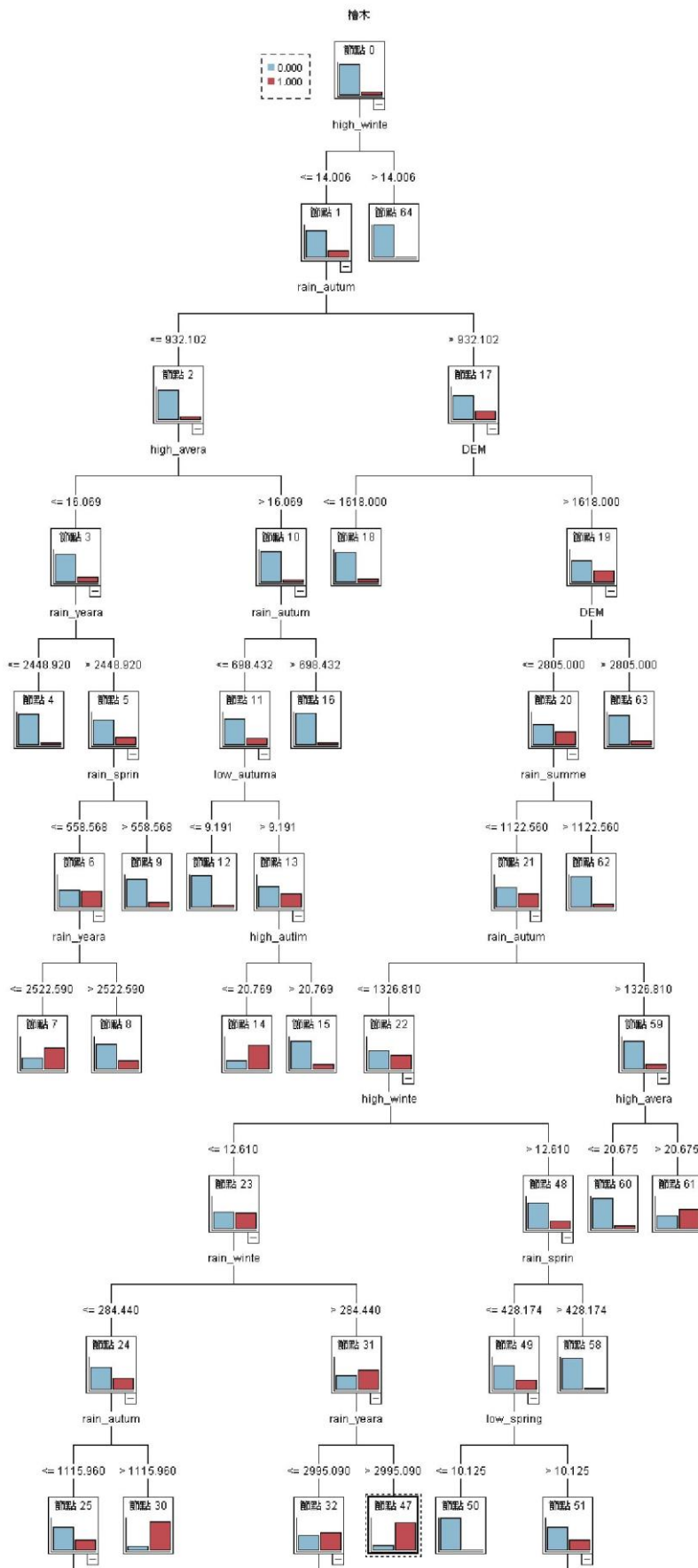


圖 25、決策樹

5.3 地理加權迴歸分析 (Geographically Weighted Regression)

Fotheringham (2000) 將空間位置的加入迴歸模型中，讓迴歸模型中有空間的因素，形成了地理加權迴歸分析方法，地理加權迴歸可以解決殘差項存在著空間自我相關的情況，並表現模型中的空間不穩定狀況的模式。地理加權迴歸分析是應用在決定區域空間迴歸變數以表達空間不穩定性的一種統計方法，相較於傳統的迴歸分析模型而言 (如最小平方法)，因加入了空間上的區位概念，能夠將量化的資訊座落於對應的空間上，藉以表達空間不穩定性 (Spatial Non-Stationary) 的分布情況。所謂空間不穩定性是指在不同的空間場域中，因某項因素的影響力隨著空間位置不同而異、因不同反應函數與系統化變動參數的改變，所顯示的不穩定性與空間場域 (location in space)、遺失變數 (missing variable) 或函數無法辨認 (functional mis-specification) 有關，導致所分析的結果有所偏差，則稱為空間不穩定性。

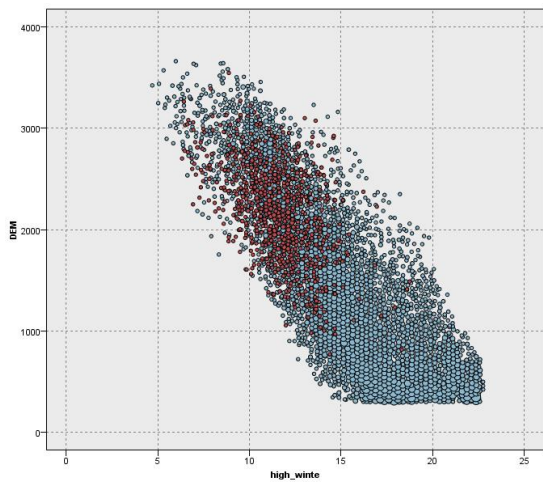
以往的空間分析方式，可分為全域式 (Global)、地方式 (Local)，本研究使用的地理加權迴歸分析是屬於地方性的空間分析方式，因是以空間不穩定性為立論點，對在全域性分析下被視為均值的空間分布情形進行探討，並在圖面上表示空間中的變化情況、強調不同空間的差異性、找出特別的場域或熱點 (hot-spots)、推測可能發生地點 (predicted value)。

5.4 決策樹 (DT) 分析成果

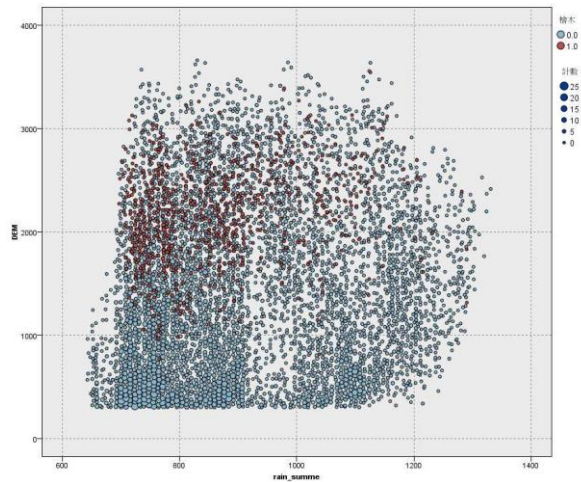
其結果顯示，因子重要性從重高到低為(1)冬季平均最高溫 49%、(2)高程 36%、(3)夏季降雨 4%、(4)秋季平均高溫 4%、(5)秋季平均溫度 3%；檜木林的預測分類準則為，在冬季最高溫要介於 6°C~15°C、高度介於 1,618 公尺~2,805 公尺、夏季雨量介於 700 毫米~1,122 毫米、秋季平均高溫介於 16°C~23°C、秋季平均溫度介於 11°C ~ 18°C，此五項因子可決策 96% 的樣本數 (表 3、圖 26)；四季雲霧發生機率在此與檜木生長相關性低 (圖 27)，且四季雲霧出現機率之差異未達顯著水準。檢視其因子決策量後發現，冬季平均高溫因子、高度因子這二項因子即可決策 85%的總量，故可知這二項在本區域內為檜木林植群選擇復育場域之重要條件。

表3、決策樹決策檜木林植群分布重要規則

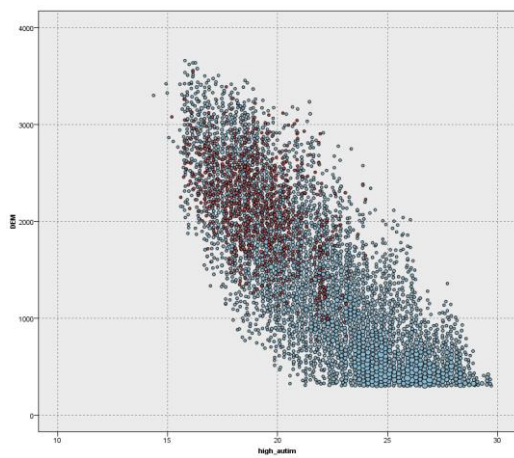
重要程度/項目	因子	範圍	決策量
1	冬季平均高溫	6°C~15°C	49 %
2	高度	1,618m~2,805m	36 %
3	夏季降雨	700mm~1,122mm	4 %
4	秋季平均高溫	16°C~23°C	4 %
5	秋季平均溫度	11°C~18°C	3 %
五項決策量總合			96 %



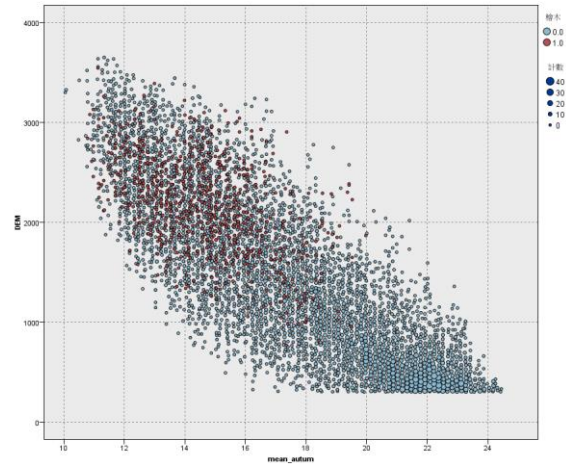
a. 冬季平均高溫與高度



b. 夏季平均降雨與高度



c. 秋季平均高溫與高度



d. 秋季平均溫度與高度

圖 26、五項檜木生長條件因子

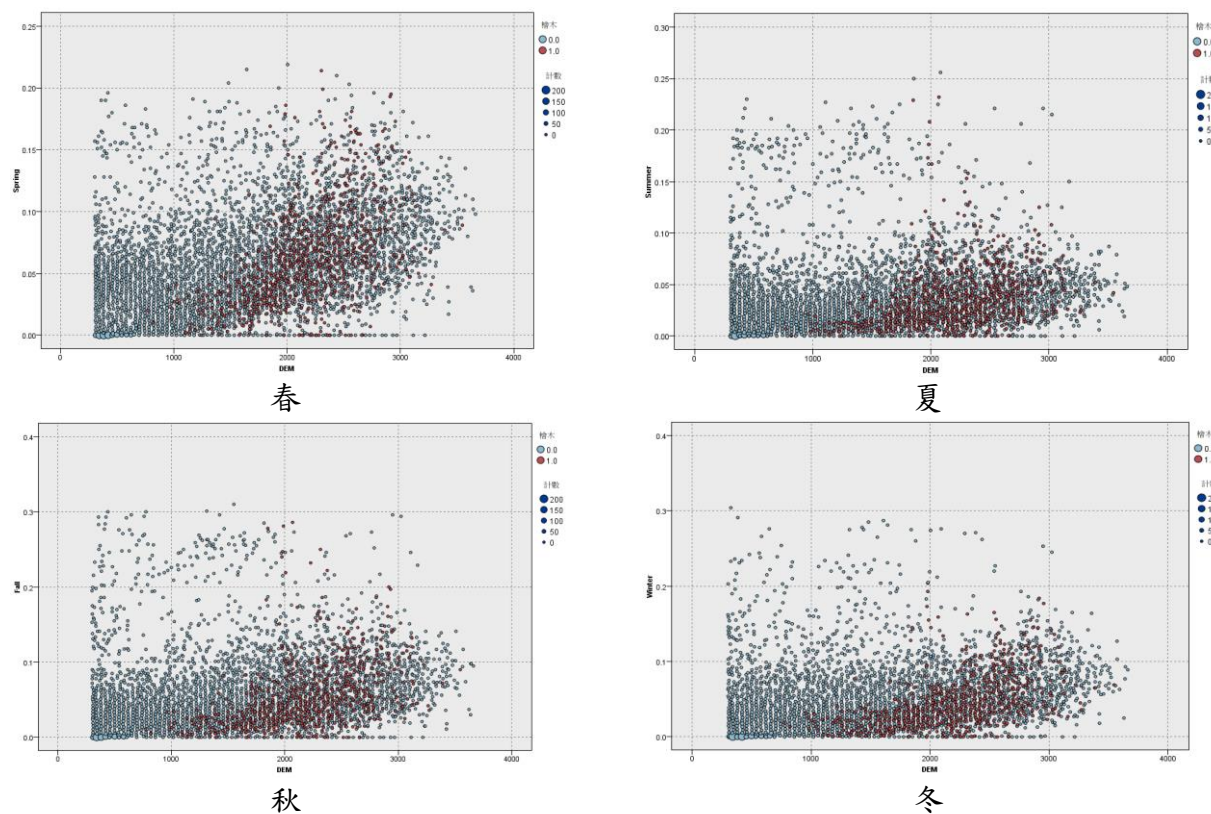


圖 27、北台灣之高度、雲發生機率與檜木生長區域對應圖

將五項重要因子運用地理加權迴歸分析 (GWR) 之分析結果如圖28所示，紅色區域為檜木適宜生長條件區域範圍、藍色為最極不可能生長區域。

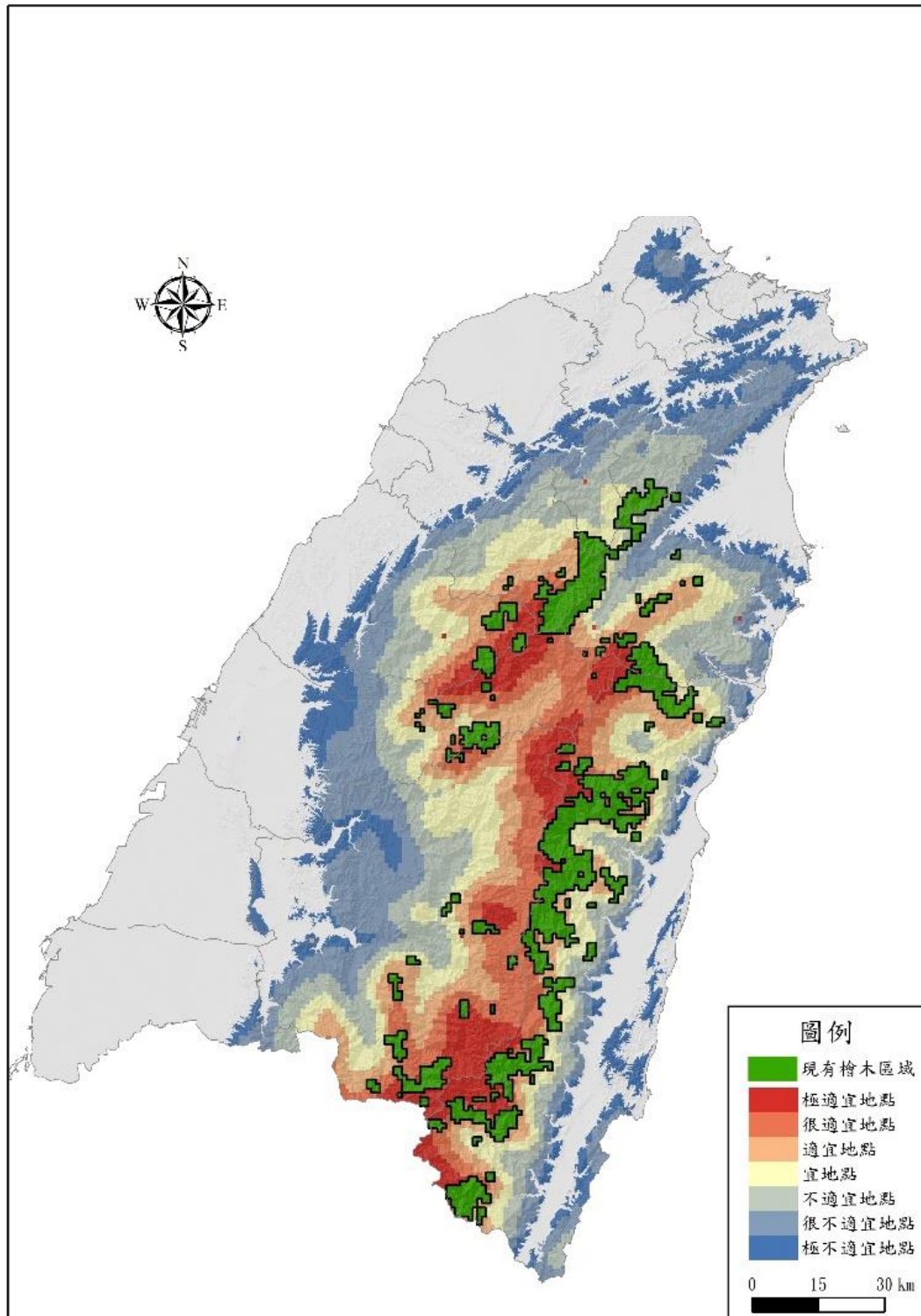


圖 28、以決策樹選取之檜木林重要因子進行 GWR 分析成果圖

5.5 主成分分析 (PCA) 分析成果

本研究將前述所有因子進行主成分分析後，萃取出5種成分 (表4)，再將這些新的成分進行地理加權迴歸分析，所得結果如圖29所示。

表4、成份矩陣

	元件				
	1	2	3	4	5
年均溫	.987	.096	.035	.027	.074
春年均溫	.986	.116	-.011	.060	-.022
秋年均溫	.986	.084	.032	.003	.113
春均低溫	.982	.122	.047	-.037	-.096
平均高溫	.977	.084	-.044	.105	.143
秋均高溫	.975	.055	-.068	.069	.184
冬年均溫	.972	.151	-.007	.054	-.136
秋均低溫	.971	.103	.116	-.067	.019
春均高溫	.971	.112	-.073	.139	.043
夏年均溫	.963	.159	.114	-.105	.078
夏均低溫	.958	.096	.150	-.128	.088
冬均高溫	.955	.106	-.134	.169	-.043
平均低溫	.951	.178	.071	-.036	-.223
夏均高溫	.948	.192	.099	-.061	.137
冬均低溫	.946	.184	.092	-.060	-.221
冬雲機率	.345	-.841	.278	.188	-.021
秋雲機率	.357	-.837	.345	-.022	.012
春雲機率	.268	-.828	.308	.263	-.082
夏雲機率	.411	-.806	.352	-.005	-.031
冬均雨量	-.261	.425	.812	-.181	.108
年均雨量	-.439	.497	.582	.460	.073
夏均雨量	-.093	.109	-.220	.897	-.041
秋均雨量	-.355	.468	.489	.496	-.211
年高低溫差	.136	-.205	-.261	.325	.834
春均雨量	-.444	.221	.431	-.250	.535

萃取方法：主成分分析。萃取了 5 個成份。

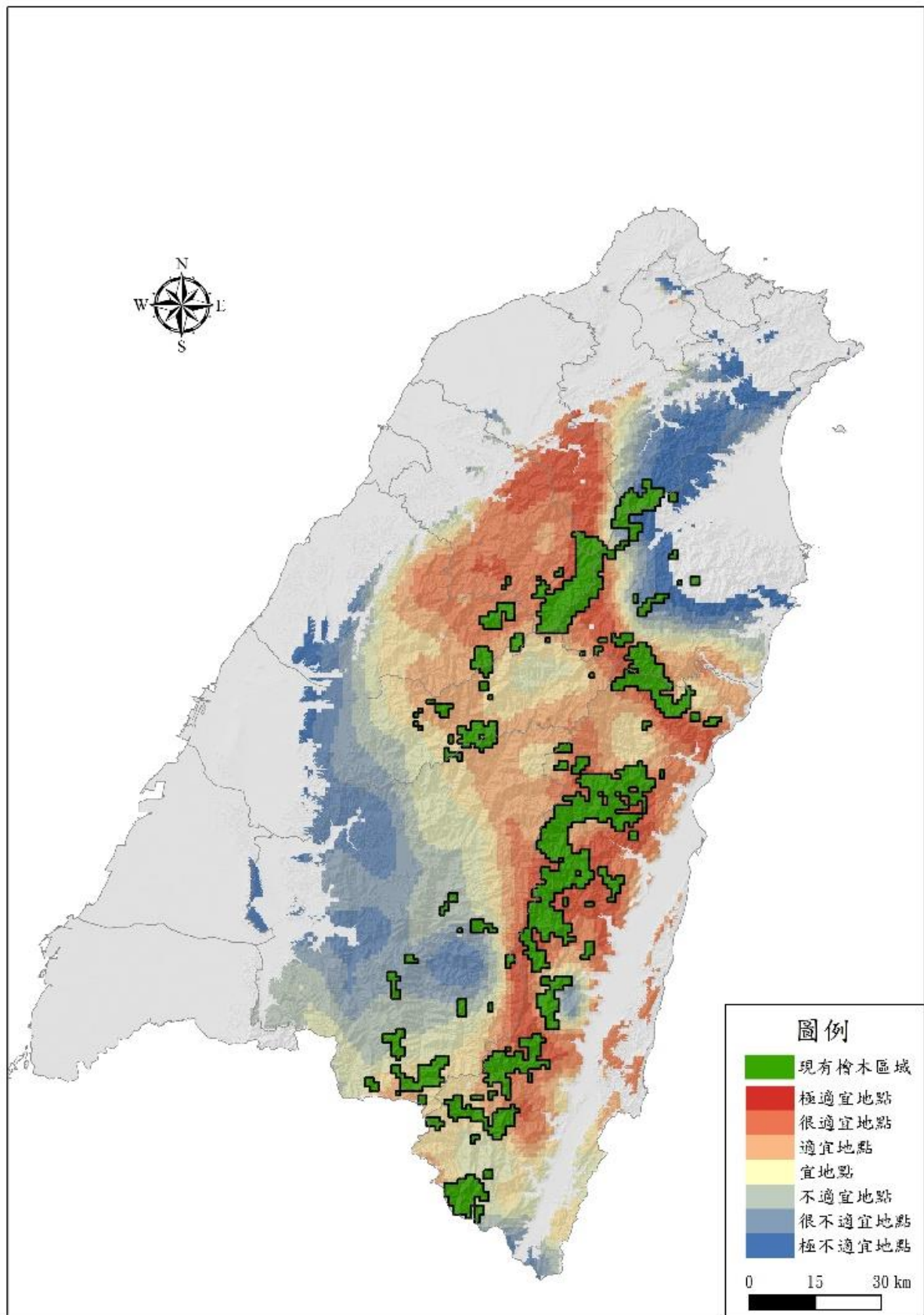


圖 29、以主成分分析萃取檜木林之成分進行 GWR 分析成果圖

從圖中可看出推估出的檜木林適宜生長區塊大致分布呈現帶狀，而圖面中央有一摟空區域，推測可能與冬季降雨不足，導致不符合檜木生長條件。

5.6 比對成果

比對圖 28 與圖 29 後，可發現兩者的因子差異性說明如下：

1. 決策樹的部分是因其決策權重由高到低的進行決策，需符合現有生長區域之冬季平均最高溫的條件後，再與挑選高程依此往後類推，其決策變量於冬季平均溫度時，即已決策了 85% 以上的總量，故停止決策分支。
2. 主成分分析的部分，因從全部因子中萃取新的變量直至可以解釋全部的總量，是一種降低維度的挑選方式，雖排除了絕大多數的因子，但卻可達最大的解釋效果，其最終進行 GWR 後，所呈現的分布方式，也較符合檜木林植群分布的趨勢，惟無法明確找出檜木林生長條件之控制變量。

綜合上述兩點，本研究經決策樹決策後，找出影響檜木林生長植群因子中，影響程度較大的因子權重。也藉由主成分分析法推估的空間分布狀況，最後運用地理加權迴歸分析的特色，預測可能復育檜木林植群的最適宜場域。故本研究將兩種分析得出之最適宜及很適宜的場域位置進行套疊，選出重疊的區域，此重疊區域應為復育檜木林植群優先考量之處所（圖 30）。

推測檜木林植群復育位置分布圖

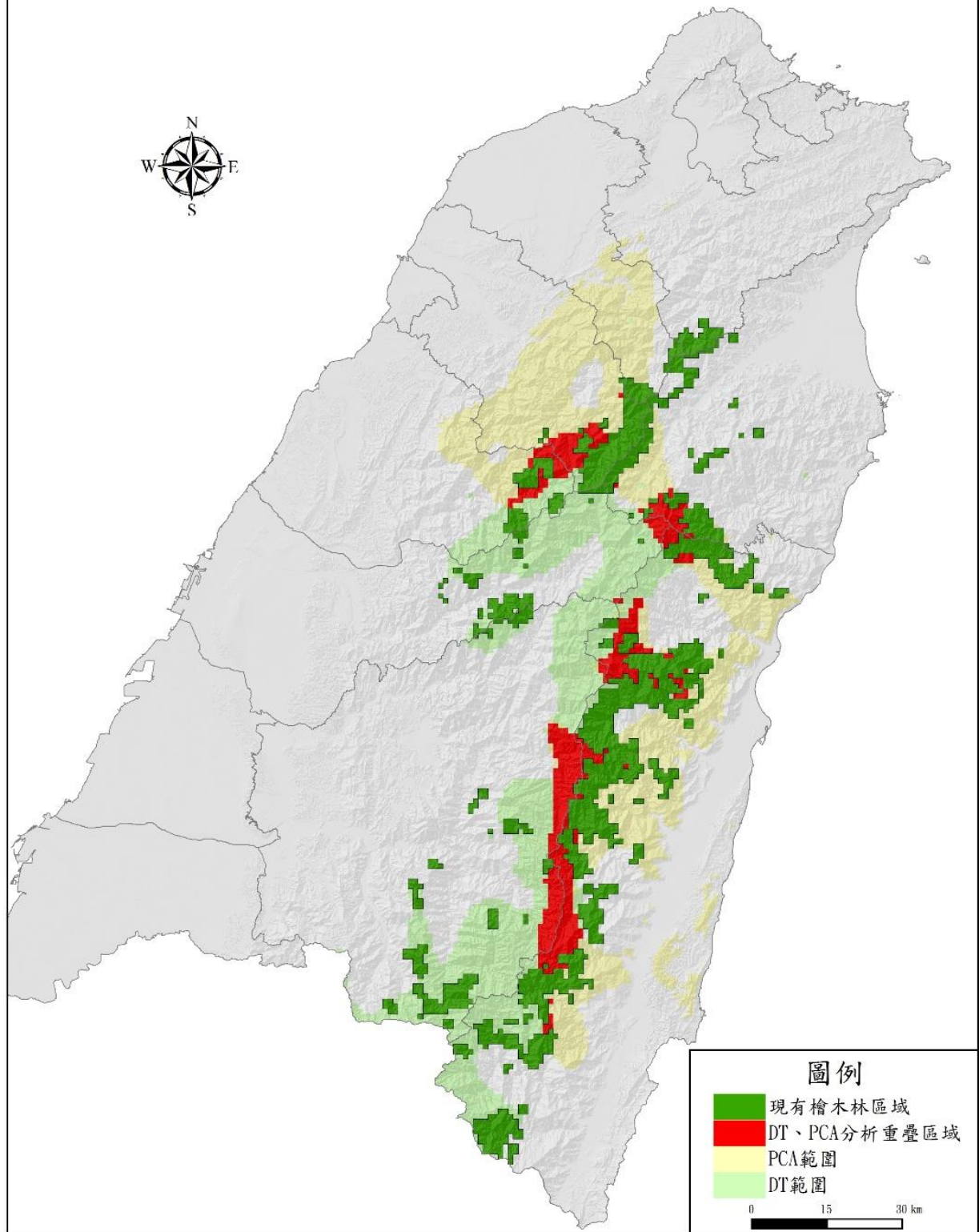


圖 30、推測復育檜木林植群位置分布圖

第六章 經營管理

6.1 一般性原則

保護區域範圍界定範圍內受到自然資源的部分、人為活動等不同影響，已呈現不完整性的現況，在考量環境因子、生物因子與管理狀態時，需適當地管理以達到保育目的，並可依照不同的劃定區域給不同形式管理與不同階層的管理機構進行維護。建議如下：

1. 核心區 (Core)：依據 IUCN 採以【嚴格的自然保留區/原野】(IUCN 1994;王鑫，2004)，
案例鴛鴦湖自然保留區；以不受到人為干擾並受自然變化改變之影響。
2. 回復區 (Restore)：回復區 (Restore) 應區分為兩類，包括 A.自然回復區 (no action) 與
B. 人為回復區 (action)。

自然回復區以檜木林人工林，或已經人為森林經營管理（如疏伐或擇伐）區域，以鄰近核心區域為優先劃定；人為回復區為已受到人為砍伐與人工林地，因與核心區域及自然回復區鄰近，有需要提供完整生態服務之需要及維持生態活動範圍之完整性。

3. 緩衝區 (Buffer)：以現有的土地使用方式，限定部分的使用與管理方式，減少自然生態衝擊對核心區域之影響。

在政府組織方面，其成立宗旨應擬定為 一 為維護棲蘭山檜木林世界襲產的價值，由目的事業主管機關（林務局）、相關中央與地方政府組織、原住民部落、學術單位、棲蘭山檜木林環境監測中心與 NGO 成立管理委會，針對區域劃定、管理策略與目標，凝聚共識並有效性的管理（參考案例表 5，美國 RCWP，Redwood Creek Watershed Group, 2006）。

表 5、Redwood Creek Watershed Group

Local Agencies and Community	State and Federal Agencies
• Humboldt County • Orick Community Services District • Orick Levee Committee	• Bureau of Land Management • Redwood National and State Parks • U.S. Fish and Wildlife Service • U.S. Geological Survey
Private Landowners	Non-Profit Organizations
• Landowners adjacent to the Redwood Creek estuary • Redwood Creek Landowners Association	• Pacific Coast Fish, Wildlife and Wetlands Restoration Association • Redwood Regional Watershed Center - Local agencies

6.2 氣象與水文

棲蘭山檜木林的氣候濕潤雨量豐沛，以秋季降雨隨著距海距離變化較為明顯，溫度變化較為溫和。在氣象站點分布的部分，大量的氣象站集中於中、下游地區，而在海拔 500 公尺～1,500 公尺間，缺乏氣象站資料，形成資料分析的缺口；在中上游地區的降雨量較海拔 1,000 公尺以下有減少趨勢，主要因為南山氣象站位於鄰近溪谷位置與大部分的舉升降雨已經在中低海拔發生；另一個原因是在中高海拔缺乏雨量站，目前最深入內陸僅有溪谷中的南山站。初步對於經營管理上的建議方向為：

1. 建構完整的氣象觀測：

在目前檜木林範圍除鴛鴦湖、太平山外，較少具有完整氣象站觀測。建議由保育區範圍之中高海拔、距海距離與地形橫剖面位置同時考量，增設氣象站。

2. 增加雲霧觀測與空間分布推估：

許多的文獻棲蘭山檜木分布與雲霧帶具有極高的關聯性，但較缺乏空間性的觀測資料與空間推估的方法，建議增加簡易的雲霧觀測或縮時攝影，以評估雲霧的時空分布特性。

3. 水資源取得與應用：

依據目前現地勘查，對於農業灌溉需求競爭，取水的成本逐漸增加，再加上河床變動大，部分河道取水困難，以南山為例，取水跨越了二個小集水區；因此，未來的經營管理所需的水源調查，須列為優先調查項目。

6.3 經營管理準則

經營管理準則參考美國紅木國家公園的經營管理準則，進一步與氣象與水文方面進行連結，為下表 6 所列。

表 6、經營管理準則

分項原則	加州紅木國家公園	氣象水文方面
管理目標擬定	1. 生態保育目標、經營管理區域與範圍、回復擾動的土地使用（崩坍、道路與林道）、原住民活動範圍、生態旅遊參與、監測與管理。	1. 確保永續水資源利用。 2. 維持河道生態流量。 3. 長期氣象監測。
自然資源保育	1. 確保所有的資源管理具有效性，並確保核心區域不受到人為干擾，維持自然發展的狀態。 2. 對於區域內土地使用、砍伐、開採對於環境資源影響的最小化為目標。 3. 對於私有土地所有權人與政府單位須積極合作達成長時期的管理與經營。 4. 需要調查與分析所屬資料的基線，以決定不同的管理機制及目標。 5. 監測環境與生態資源的變化情形，以評估自然變異，並降低人為威脅，積極建立監測管理以防止對資源的竊取與剝奪。	1. 建立氣象與水文基線。 2. 評估氣候敏感地帶與外來風險。 3. 降低人為活動水文衝擊。 4. 提供生態流量與風險。
文化資源的管理與保護	1. 認知過去與目前當地區民存在事實，並追溯對於環境保育解釋的重要性。 2. 結合文化資源，將文化發展與自然保育計畫相互結合，強化公眾對於文化資源努力的成果展現。 3. 積極尋求傳統文化活動在管理計畫內的調適方法。	1. 認知與追溯水與霧的生活空間。
教育的闡釋	1. 藉由設施、現地活動、展示與觀光活動提供深度的教育闡釋。 2. 由不同層級機構（政府）的串連與結合，強化旅客的服務並改善影響效率。 3. 在戶外教室與當地社區提供廣泛而多元的教育機會。 4. 針對國際的旅客發展所對應教育素材。 5. 發展新的旅客服務與設施，以擴展旅客對於環境認知與評估資源與活動場域的能力。 6. 發展旅客參與不同的計畫與活動，並運用學習資源來獲取以旅客的視角下，應如何保育這些資源。	1. 雲霧與檜木互動與生存。 2. 雲霧的觀景時間與欣賞平台教育單位。 3. 雲霧觀測。

公眾使用、遊憩與旅客安全	1. 在適當地點提供不同設施，以作為公眾使用與活動。 2. 在涵蓋全區提供不同地點的車輛接駁。 3. 管理休憩活動與使用以確保資源保護，並使得衝擊最小化確保公眾使用符合保育區管理規則。 4. 在公眾衝突與資源保育上，評估可乘載量與細部的發展計畫。 5. 對於不同旅客需求提供不同的返家計畫。 6. 結合當地與鄰近社區提供安全與健康旅客計畫。 7. 在適當地點提供旅客一些環境保育的適當規範。 8. 授權部分的商業使用，以強化公眾參與或資源流動。	
交通系統	1. 保育區內道路是在保育區目標下管理且強化公眾休閒使用，並非迎合公眾使用而建立。 2. 確保道路相對簡單且對於環境及地形的調和，這些道路相對狹小與低時速限制在適當地點提供客觀賞與休憩。 3. 藉由限縮停車空間、使用大眾運輸、申請限額等方式，限縮進入較敏感區位。 4. 提供適當的道路維護計畫。	
保育與社區組織的相互依賴	1. 提供永續經濟發展、保存社區價值與提供適當旅客服務的能力，將社區視為進入保護區的一個方法，也可提高社區價值。 2. 地方社區或是部落為公眾活動與保育的重要夥伴。 3. 在鄰近保護區位置，鼓勵發展可持（永）續使用的旅客服務設施。 4. 參與當地教育與公眾安全計畫，並與當地機構或是組織共同管理土地的使用與區域的運輸計畫。	1. 環境資源價值的提升。

參考文獻

- Chang, S. C., Lai, I. L., & Wu, J. T. (2002). Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*, 64(1), 159-167.
- Chang, S. C., Yeh, C. F., Wu, M. J., Hsia, Y. J., & Wu, J. T. (2006). Quantifying fog water deposition by in situ exposure experiments in a mountainous coniferous forest in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 224(1), 11-18.
- Fotheringham, A.S., Brunson, C. and Charlton, M. (2000). *Qualitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*. London: SAGE Publications.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1), 73-106.
- Hamilton, L. S., Juvik, J. O., & Scatena, F. N. (Eds.). (2012). *Tropical montane cloud forests* (Vol. 110). Springer Science & Business Media.
- Jarvis, A., & Mulligan, M. (2011). The climate of cloud forests. *Hydrological Processes*, 25(3), 327-343.
- Liu, T. (1966). *Study on the phytogeography of the conifers and taxad of Taiwan*. Taiwan Forest Research Institute.
- Redwood Creek Watershed Group. (2006). *Redwood Creek Integrated Watershed Strategy*, Redwood Creek Watershed Group.
- Schulz, H. M., Thies, B., Chang, S. C., & Bendix, J. (2016). Detection of ground fog in mountainous areas from MODIS (Collection 051) daytime data using a statistical approach. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(3).
- Thies, B., Groos, A., Schulz, M., Li, C. F., Chang, S. C., & Bendix, J. (2015). Frequency of Low Clouds in Taiwan Retrieved from MODIS Data and Its Relation to Cloud Forest Occurrence. *Remote Sensing*, 7(10), 12986-13004.
- 王 鑫 (2000)。棲蘭山檜木林區地質地形資源調查研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 王兆桓 (2001)。雙重變動面積取樣法在天然檜木林調查之應用。中華林學季刊，34，185-19
- 王兆桓 (2005)。棲蘭山檜木森林調查與健康監測。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森
- 王震哲 (2000)。棲蘭山檜木林區植物資源調查研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。
- 李宗翰 (2003)。棲蘭野生動物重要棲息環境動物調查。林務局新竹林區管理處，研究系列 92-09 號。
- 李玲玲 (2000)。棲蘭山檜木林區動物資源調查研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

林保育事業管理處，研究系列 94-01b-004。

林世宗 (2003)。棲蘭山林區天然檜木林生態系經營計畫九十二年期末報告 (檜木保育更新作業成效調查)。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處。

林世宗 (2004)。棲蘭山生態系台灣擦樹資源調查。行政院國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處。

林世宗、陳子英 (2006)。棲蘭山珍貴樹種調查培育與保育。行政院退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處，研究系列 950522-1。

林湘玲、郭幸榮 (2003)。紅檜與臺灣扁柏種子在不同水逆境模式下之發芽。臺灣林業科學, 18(1), 13-24。

林進龍 (2007)。棲蘭山檜木林冠層下檜木栽植苗之生長表現。國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文，未出版，宜蘭。

邱志明、羅卓振南 (2002)。紅檜幼齡人工林密度試驗。臺灣林業科學 18(1):13-23。

徐國士 (2000)。棲蘭山檜木林區保育維護方案之研擬。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

袁孝維、丁宗蘇、蔡若詩 (2004)。棲蘭山檜木林枯立倒木整理作業對鳥類群聚之影響。中華林學季刊，27，29-36。

戚啟勳 (1983)。氣候變遷及其可能影響之探討，氣象學報，29 (2)：1-19。

郭婉君 (2001)。棲蘭山地區台灣擦樹種子散播型式之探討。國立台灣大學森林研究所碩士論文，未出版，台北。

陳子英 (2000)。棲蘭野生動物重要棲息環境 棲地植群調查 宜蘭縣。行政院農業委員會林務局研究系列第 89-1 號，pp.138。

陳子英 (2005)。棲蘭山之植群與植物相的調查研究 (二)。行政院退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處，研究系列 94-01b-004。

陳鎮東 (1998-1999)古全球變遷 子計畫 台灣高山湖泊與內蒙古鹽湖之古氣候紀錄對比 (2)。

陳耀德 (2003)。鴛鴦湖森林生態系大氣養分輸入之探討。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，未出版，台東。

黃錦源 (2000)。紅檜與臺灣扁柏族群粒線體 DNA。中國文化大學生物科技研究所碩士論文，未出版，台北。

葉青峯 (2004)。台灣扁柏森林的生物量及雲霧沉降量估算。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，未出版，台東。

雷鴻飛 (2014)。棲蘭山檜木林世界遺產潛力點設置要點研究。行政院農業委員會林務局林業發

展計畫。

劉益昌 (2001)。棲蘭山檜木林區人文史蹟資源調查研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

藍佩芬、王亞男、王明光 (2009)。火燒跡地二葉松與栓皮櫟葉片之分解。中華林學季刊 (Quarterly Journal of Chinese Forestry) 42(1):57-73 (2009)。