

行政院農業委員會林務局
農林航空測量所



「機器學習於航攝影像
森林覆蓋型萃取之研究 (2/3)」
成果報告書

全程計畫：自 109 年 3 月至 111 年 12 月止

本年度計畫：自 110 年 1 月至 110 年 12 月止

執行廠商：興創知能股份有限公司

中華民國 110 年 12 月

目 錄

目 錄	I
表 目 錄.....	III
圖 目 錄.....	IV
摘要	VI
第壹章、前言.....	1
一、計畫緣起及目的	1
二、全程計畫目標	2
三、三年期計畫目標	3
第貳章、工作範疇與預定進度	5
一、工作項目	5
二、工作架構	6
三、工作進度說明	8
第參章、實作資料蒐集與演算模式建構	12
一、實作資料蒐集	13
二、演算模式建構	29
第肆章、機器學習運算資源效能測試	39
一、國內外運算資源盤整	39
二、訓練流程與效能測試	47
第伍章、機器學習模型效能提升方案	52
一、光譜波段組合指標試驗	52
二、高解析影像優化試驗	57
三、訓練樣本物候特性試驗	60
四、多元影像判釋模型擴展性試驗	63
第陸章、森林物件萃取自動化流程建置	67
一、混淆林型分類模型擴充試驗	67
二、森林資源調查人工編修作業輔助	81
三、銀合歡判釋模型建構工作評估	92

第七章、論文投稿	94
第八章、教育訓練	98
第九章、結論建議與續期規劃	103
一、結論建議	103
二、續期規劃	105
參考文獻.....	108
附錄一、計畫成果投稿	111
附錄二、審查意見回覆情形	115
附錄三、教育訓練簡報	145
附錄四、工作會議記錄	184

表目錄

表 2-1 工作項目與章節對應規劃	7
表 2-2 實際進度表	9
表 2-3 本期進度摘要說明	10
表 3-1 實作資料蒐集於模型建構過程之用途	12
表 3-2 DMC 航空攝影記錄檔格式說明	14
表 3-3 台灣林型面積覆蓋率統計	18
表 3-4 誤差矩陣對照表	35
表 3-5 109 年計畫樹種判識誤差矩陣	36
表 3-6 110 年計畫樹種判識誤差矩陣	37
表 3-7 樹種判釋模型擴充與改良規格比較	38
表 4-1 三大雲端運算服務功能比較	41
表 4-2 三大雲端儲存服務功能比較	41
表 4-3 三大雲端服務優劣分析	42
表 4-4 TWCC 運算服務規格比較	44
表 4-5 TWCC 儲存服務規格比較	44
表 4-6 硬體規格比較	46
表 4-7 硬體效能測試記錄	51
表 5-1 本計畫所用光譜組合指標之公式與參考文獻	54
表 5-2 乾濕季分類統計結果	63
表 6-1 林型分類之定義	68
表 6-2 林型判釋誤差矩陣對照表	81
表 6-3 依照林型機率邏輯表決定最終分類成果	90
表 6-4 森林覆蓋型辨識工具產出 SHP 檔各欄位參考	91
表 7-1 國內外重要研討會列表	95
表 8-1 教育訓練課程表	99

圖目錄

圖 2-1 整體計畫架構.....	8
圖 3-1 DMC 航攝影像.....	13
圖 3-2 本計畫蒐集之航攝影像空間分布.....	15
圖 3-3 航攝影像時間分布.....	16
圖 3-4 森林林型分布圖.....	19
圖 3-5 永久樣區設立流程圖.....	21
圖 3-6 森林永久樣區依 IPCC2 重新分類結果.....	22
圖 3-7 地文因子萃取成果圖.....	25
圖 3-8 本計畫蒐集之正射影像空間分布.....	27
圖 3-9 正射影像時間分布.....	28
圖 3-10 樹種判釋模型分類流程.....	29
圖 3-11 原始林型圖框與反投影後實際位置.....	31
圖 3-12 反投影高程參數調整之結果比較.....	31
圖 3-13 經影像前處理後的訓練資料案例圖.....	32
圖 3-14 本計畫判釋模型 19 類隨機抽取的樹種訓練樣本.....	34
圖 3-15 樹種判釋模型架構擴充示意圖.....	35
圖 4-1 常見雲端服務用量排名.....	40
圖 4-2 拜訪國網中心洽談運算需求.....	45
圖 4-3 台智雲雲端服務報價.....	45
圖 4-4 軟體 CPU BENCHMARK 比較.....	47
圖 4-5 資料前處理所需時間.....	49
圖 4-6 影像裁切所需時間.....	50
圖 4-7 5 張影像各階段處理時效記錄.....	51
圖 5-1 光譜組合指標訓練樣本案例圖.....	55
圖 5-2 訓練資料產製流程與光譜組合指標擴充.....	55
圖 5-3 樹種判釋模型之光譜組合指標特徵熱點地圖.....	56
圖 5-4 多尺度特徵萃取方法比較.....	59

圖 5-5 卷積神經網路(CNN)影像判釋模型中加入 FPN	59
圖 5-6 判釋模型加入 FPN 之比較.....	60
圖 5-7 依降雨趨勢區分各縣市	63
圖 5-8 選取 2 幅正射影像進行裁切	64
圖 5-9 5,179 個正射影像裁切後之樣本的林型分類結果	65
圖 5-10 5,179 個正射影像裁切後之樣本的樹種分類結果	66
圖 6-1 既有森林資源調查數化標準作業流程	70
圖 6-2 作業人員實際操作畫面	71
圖 6-3 樹種判釋與林型判釋模型訓練歷程比較.....	72
圖 6-4 樹種判釋模型驗證資料分類成果	74
圖 6-5 各樹種判釋錯誤資料統計	75
圖 6-6 樹種判釋模型之各輸入參數特徵熱點地圖	79
圖 6-7 林型判釋模型驗證資料分類成果	80
圖 6-8 林型判釋模型之各輸入參數特徵熱點地圖	81
圖 6-9 檢訂調查編修作業畫面	82
圖 6-10 森林覆蓋型自動化萃取系統架構.....	83
圖 6-11 輔助工具運作流程	89
圖 6-12 於一般 GIS 軟體檢視輔助工具產出成果.....	90
圖 6-13 恆春半島銀合歡分布範圍圖資	93
圖 7-1 第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會計畫成果海報展示...96	
圖 7-2 110 年森林資源永續發展研討會成果海報與計畫主持人合影 96	
圖 7-3 森林資源永續發展研討會獲獎留影.....	97
圖 8-1 教育訓練上課畫面	100
圖 8-2 教育訓練學員簽到表	101
圖 8-3 教育訓練講師簽到表	102
圖 9-1 森林覆蓋型辨識工具介面設計示意圖	107

摘要

本計畫為三年期計畫(109 至 111 年)第二年，相較於第一年的方法探討與測試，本年度聚焦於森林覆蓋型辨識模型精度之提升，並參考現行編修作業，實際投入模組化辨識工具之開發。在資料蒐集與模式建構過程，維持使用 DMC 航攝影像作為模型訓練的主要資料，並針對前期資料分布懸殊的純林樹種和拍攝時間進行補充，累計共計 3,248 幅影像。而現地資料則改以 109 年林務局最新編修的林型暨土地覆蓋型圖資作為關鍵的學習目標。模型建構除了延續前期成果外，選擇將樹種判釋自原先的 11 類擴充至 19 類，並讓訓練用的參數因子擴充至 16 項。為了提供所內未來模型擴大運用評估之參考，對國內外運算資源進行盤整，且包含我國國網中心的服務與報價細節，但短時間仍以農航所本地端的運算資源為主，因此亦在農航所指定的硬體資源上完成模型訓練與辨識之測試。

本計畫提出四項效能提升測試方案，在光譜波段組合指標試驗中除了原有的 NDVI，新增了 5 項組合指標包含 SAVI、ARVI、ExGI、GCC 與 GLI，其結果確實有助於提升模型判釋能力。在特徵金字塔網絡(FPN)的試驗中，因模型沒有顯著提升，最終並未納入模型優化。而在物候特性試驗中，因乾濕季資料精度統計結果亦無明顯差異，顯示模型對於乾濕季影響甚微。最後，隨機抽取數張正射影像作為多元影像判釋模型擴展測試，雖然測試樣本資料樣態並不平均，但在同樣的影像格式下模型仍具擴展性，唯訓練資料集中應加入正射影像進行更新，以提升其辨識準確率。而為了實現混淆林型的分類需求，本計畫除了完成 19 種純林的判釋，更額外增加了 3 種單純林型的判釋模型，其模型精度分別為 73%與 88%，kappa 值分別為 0.7 與 0.85。

本年度基於多次的訪談，設計了森林資源調查人工編修作業輔助方法，以及各階段對應的操作工具，讓判釋模型能夠依循混淆林型分類邏輯，融入實際的編修作業中。整體架構一共規劃了三種介

面化工具包含【專家辨識編修工具】、【模型優化訓練工具】與【森林覆蓋型辨識工具】。其中【森林覆蓋型辨識工具】已完成雛形開發與實機測試，讓使用者得透過工具取得 DMC 航攝影像的模型辨識與差異分析之結果。最後，相關成果更透過研討會海報投稿，與教育訓練之方式，來協助農航所推動未來工作及應用藍圖之規劃。並納入第三年計畫中完成工具模組之開發，建構符合現行作業流程需求之客製化、自動化 AI 應用軟體。

第壹章、前言

一、計畫緣起及目的

臺灣森林佔全島土地面積近六成比例，除林木本身經濟價值外，同時也是國土保安、水源涵養、氣候調節、育樂遊憩以及生物多樣性維護之重要角色。為獲得林地經營所需之土地覆蓋型空間資訊，需藉由森林資源調查，而為獲取森林植群變遷之空間資訊，則需長期持續累積特定植群空間分布資料，並從中獲取研究氣候變遷之線索。

相關空間資訊若採用現地進行地面調查作業，可獲得最真實的資訊，然而森林面積廣闊且多位於坡地不易到達之處，在人力、安全及經費考量下，僅能蒐集有限範圍之樣點資料並統計推估，而無法有效獲得大範圍之空間資訊。藉由航空攝影測量及衛星遙測等技術，則可獲取中、大尺度之空間資訊，其中衛星影像可同時獲得大區域的影像資訊，並以影像分類技術獲得大範圍之空間資訊，惟目前可免費獲取之衛星影像空間解析度較差，使其對於植群之紋理特性較為不足，無法進行較細類別之區分；航空測量之尺度介於地面調查與衛星遙測，除了具備與衛星遙測相同的光譜感測特性外，也具備表現紋理特徵之特性。近年快速發展之無人機航遙測技術，能於低空進行拍攝任務，補充航攝飛機較難達成之雲下取像作業，為逐漸被採用之航測輔助工具。

由於現行大面積資源調查及土地覆蓋型更新等，尚需倚賴大量人力進行航攝影像判釋與測繪作業，常因優秀航照判釋人才不易培訓及訓練成效不易掌握，進而影響資料品質與期程，是以有發展科技輔助森林資源調查之必要，本計畫將針對以上關鍵課題進行分析及提出解決方案。

林務局為負責本國航遙測圖資蒐集與產製之政府單位，除連年以先進數位航攝相機進行航空影像之拍攝外，亦建置有大規模之歷

史航遙測影像倉儲，持續納管最新航攝影像成果，並提供各界作為判釋調查之基礎影像資料，同時支援林務局森林資源調查與檢訂作業所需之中尺度土地覆蓋型航測資訊。如能在現有基礎上發展機器學習等技術，降低現行人工判釋圈繪作業工作量及作業時程，提高作業效率，則有機會在更穩定的資料標準及較低之人力時間成本下，加速土地覆蓋型資訊之取得、擴大國土資訊取得之範圍，進而提升空間資訊之時間向度，從而掌握變遷資訊，兼而擴大發揮航遙測影像倉儲之功能。

本計畫即基於農林航空測量所(以下簡稱農航所)之航遙測影像倉儲內之歷年巨量航攝影像，應用近年蓬勃發展之機器學習相關技術，發展航攝影像森林物件自動判釋技術，嘗試萃取森林覆蓋型、種類及變異等空間資訊，期能補足傳統人工判釋之不足，降低人為主觀判釋之差異及森林資源調查之成本，進一步經由累積時間向度之森林覆蓋空間資訊，嘗試研究特定物種之影像判釋萃取，評估作為取得植群調查相關研究所需輔助圖資之可行性。

二、全程計畫目標

本計畫預計以 3 年為期(109 年至 111 年)，藉助科技專業與學術研究，協助整合數值航測、航遙測影像分類、機器學習等相關技術，針對符合未來應用規格之航攝影像（以地面解析度 0.5 公尺或優於 0.5 公尺，可見光、多光譜或高光譜影像等為原則），研究在現行森林資源調查架構下，提出適用於森林物件自動化判釋流程的機器學習技術並進行相關驗證，藉以評估機器學習於航攝影像自動判釋輔助森林覆蓋型人工判釋圈繪作業及特定植群分布資訊萃取之可行性。

本計畫須以機器學習演算相關技術，進行航攝影像中特徵物件萃取為主要研究方向，搭配農航所航攝巨量資料及相關地真資料，進行包含機器學習相關演算法、高速運算導入等相關測試研究，並

在演算法及流程上研究效能提升方案，以加速與提升分類效果。

研究亦應就前述所發展之機器學習相關演算法，以及參考國家航遙測圖資建置情形，研擬制定相關影像特徵規格及流程規範，並以資料庫或其他對應方式建置相關特徵集，以利後續長期資料蒐集與建置所需。

三、三年期計畫目標

(一) 109 年度目標 (已完成)

1. 研究區域規劃與資料蒐集
2. 航遙測影像分類技術之分析與功能評估
3. 機器學習演算法應用於航遙測影像分類之研究探討
4. 現行森林資源調查架構下以機器學習技術建置森林物件調查流程雛型
5. 教育訓練

(二) 110 年度目標 (本計畫目標)

1. 研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集
2. 評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試
3. 研究機器學習演算法及流程效能提升方案
4. 以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置
5. 投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會
6. 教育訓練

(三) 111 年度預定目標(後續擴充)

1. 實證區域規劃與資料蒐集
2. 機器學習之軟體開發與硬體規劃、實作與流程標準化
3. 現行森林資源調查架構下以機器學習技術自動化智慧判釋森林覆蓋型模式之實測、效能評估及修正
4. 開發機器學習自動化智慧分析介面與調查流程完整化
5. 機器學習應用於特定物種自動化偵測之可行性評估
6. 投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會
7. 教育訓練

第貳章、工作範疇與預定進度

一、工作項目

本計畫 110 年度研究相關工作項目及內容說明如下：

(一) 研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集

1. 增加不同時期或季節拍攝之航攝影像，除可提升訓練樣本之數量，亦增加物候對於林木生長之判釋特徵。
2. 為提升反投影之精準度，考量森林樹冠高程之影響，改以數值地表模型(DSM)進行反投影對位。

(二) 評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試

1. 以自動化作業為目標，評估本計畫所使用之相關軟體或自行撰寫程式與國內高速運算資源及測試。
2. 詳實記錄各階段操作、運算時效，以滿足巨量高解析航攝影像、數值地形模型運算分析之負載。

(三) 研究機器學習演算法及流程效能提升方案

1. 評估各波段組合指標對判釋成果之影響。
2. 評估優化高解析度影像判釋之深度學習方法。
3. 評估各類航遙測影像萃作物候特性之可行性。

(四) 以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置

1. 109 年度先以純林為判釋目標，測試以機器學習分類樹種可行性。110 年開始加入混淆林型分類研究，以有效輔助現行森林人工判釋之流程。
2. 基於現階段樹種分類深度學習模型開發成果，規劃軟硬體需求與實作介面設計，以符合自動化森林物件作業之目標。

(五) 論文投稿

1. 投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會

(六) 教育訓練

1. 辦理機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之相關理論及技術教育訓練 1 場(時數至少為 6 小時)。

二、工作架構

本期(110 年)機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之工作架構，係延續 109 年計畫執行架構進行擴充，以落實輔助現行作業之目標，進行森林覆蓋型辨識模型開發與研究。其工作項目與章節對應規劃如表 2-1 所示，整體計畫架構如圖 2-1 所示。

在「實作資料蒐集與演算模式建構」中，透過實作資料蒐集，延續既有的模型架構進行訓練資料的擴充與更新；演算模式建構則說明如何沿用既有架構並擴充分類目標，以更符合判釋應用之需求。架構上透過「機器學習運算資源效能測試」進行運算資源盤整與硬體效能測試，作為未來模型實際運行評估的重要參考指標。「機器學習模型效能提升方案」，除了上述在硬體資源上的測試，更透過數個試驗設計，例如光譜組合指標、特徵金字塔網路、物候特徵與多元影像判釋等方式，評估具體有效的效能提升方案。「森林物件萃

取**自動化流程建置**」為今年度計畫之核心，基於現行可用的判釋模型與多次的訪談討論來完成初步的自動化流程建置，以及森林覆蓋型辨識工具之開發。最終透過「**論文投稿**」曝光與「**教育訓練**」課程安排，達成計畫技術亮點曝光與實務應用之討論。

表 2-1 工作項目與章節對應規劃

工作項目	對應章節	作業內容
一、研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集	第參章、實作資料蒐集與演算模式建構	1. 實作資料蒐集：包含航攝影像蒐集、現地資料蒐集、地文資料蒐集與其他影像蒐集。 2. 演算模式建構：反投影偏移改善方案、判釋模型改良與擴充。
二、評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試	第肆章、機器學習運算資源效能測試	1. 運算資源盤整：常見雲端服務盤整與硬體資源報價評估。 2. 流程效能測試：模型部署環境規劃與運算效能測試。
三、研究機器學習演算法及流程效能提升方案	第伍章、機器學習模型效能提升方案	1. 光譜組合指標試驗 2. 特徵金字塔網路試驗 3. 物候特徵試驗 4. 多元影像判釋試驗
四、以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置	第陸章、森林物件萃取自動化流程建置	1. 混淆林分類模型試驗 2. 模型系統介面設計雛形與輔助成果
五、投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會	第柒章、論文投稿	1. 投稿至地球觀測及社會衝擊國際研討會 2. 投稿至森林資源永續發展研討會
六、教育訓練	第捌章、教育訓練	1. 舉辦一場 6 小時的教育訓練

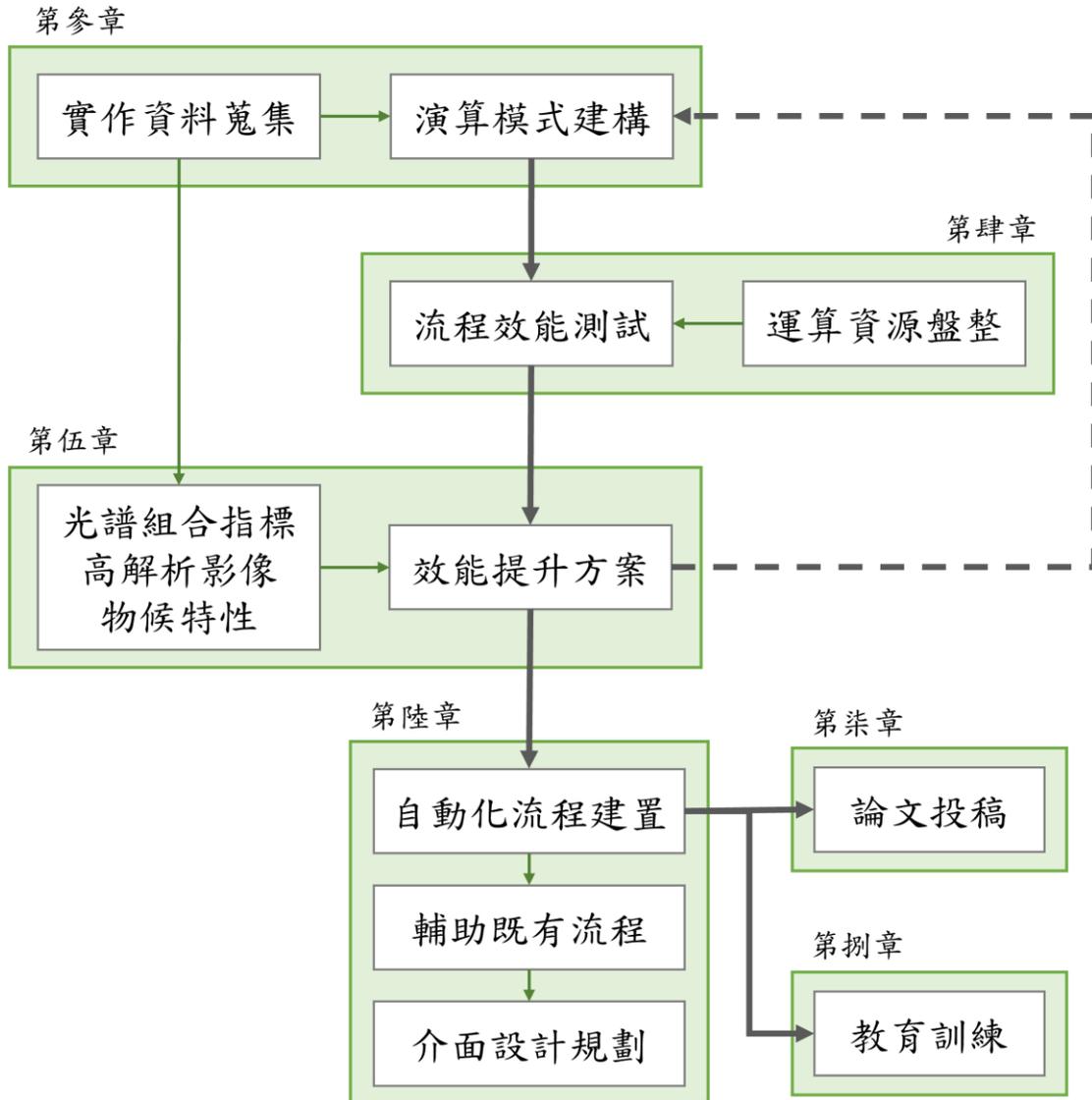


圖 2-1 整體計畫架構

三、工作進度說明

本計畫執行期程自簽約日起至 110 年 12 月 10 日止。表 2-2 為本計畫之實際進度表，說明各階段之工作完成百分比，本期進度簡要摘要內容如表 2-3 所示。

表 2-2 實際進度表

工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	實際完成百分比
	年別	110年度												
	月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1	研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集													
	1-1 實作資料蒐集		█	█	█	█								100%
	1-2 演算模式建構		█	█	█	█	█							100%
2	評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試													
	2-1 國內外運算資源盤整			█	█	█	█							100%
	2-2 訓練流程效能測試			█	█	█	█	█	█					100%
3	研究機器學習演算法及流程效能提升方案													
	3-1 波段組合指標試驗				█	█	█	█	█					100%
	3-2 高解析影像試驗					█	█	█						100%
	3-3 訓練樣本物候特性試驗					█	█	█						100%
4	以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置													
	4-1 混淆林型分類模型擴充試驗						█	█	█	█	█	█		100%
	4-2 機器學習模型系統規劃設計							█	█	█	█	█		100%
5	投稿至少1篇論文至國內外期刊或研討會													
	5-1 投稿一篇至國內外期刊或研討會									█	█	█		100%
6	教育訓練													
	6-1 辦理6小時遙測影像分類理論與技術教育訓練													100%
預定進度累積百分比		9%	18%	27%	36%	45%	54%	63%	72%	81%	90%	100%	100%	

工作計畫書
(01/28)

期中報告書
(06/10)

期末報告書
(11/10)

成果報告書
(12/10)

表 2-3 本期進度摘要說明

工作項目	進度摘要說明	與前期(109年)成果比較
<p>一、研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成 DMC 影像蒐集共計 3,248 幅。 2. 完成正射影像蒐集共計 1,252 幅。 3. 蒐集 109 年最新版林型暨土地覆蓋型圖資。 4. 使用正高取代橢球高進行反投影並內縮 25 公尺確保品質。 5. 判釋模型的整體精度提升，19 類純林與 3 類林型判釋的模型精度分別為 73% 與 88%。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 僅使用 718 幅 DMC 影像。 2. 無蒐集正射影像。 3. 使用第四次森林資源調查圖資。 4. 使用橢球高橢球高進行反投影並內縮 25 公尺確保品質。 5. 原模型為 11 類純林，樹種判釋整體精度為 65%。
<p>二、評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評估雲端服務與本地資源，並規劃以本地端資源為主。 2. 實際完成模型前處理流程實測紀錄，確認農航所硬體資源應可應付模型訓練及相關處理作業。 	<p>為今年新增工作，去年無相關內容。</p>
<p>三、研究機器學習演算法及流程效能提升方案</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成光譜組合指標試驗，新增 5 項光譜組合指標於模型。 2. 完成高解析影像試驗，無顯著影響。 3. 完成物候特性試驗，乾濕季對模型的判釋無顯著影響。 4. 完成多元影像擴展試驗，模型有良好的擴充性，未來可多加利用。 	<p>為了有效提升模型辨識精度，為今年新增工作，去年無相關內容。</p>
<p>四、以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過混淆林分類模型試驗：完成樹種與林型的模型判釋。 2. 藉由需求訪談了解現行森林資源調查人工編修作業流程與輔助需求，並完成【森林覆蓋型辨識工具】。 	<p>109 年著重於資料解析、模型框架設計與訓練。110 年則以實際優化作業流程為目標進行測試。</p>

	3. 針對銀合歡，規劃資料處理與模型訓練流程，並預定於第三年實作。	
五、投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已於 8/23~24 完成「地球觀測及社會衝擊國際研討會」的海報發表。 2. 已於 10/28~29 完成「森林資源永續發展研討會」的海報發表。 	為 109 年規劃之延續，實際投稿發表相關技術成果。
六、教育訓練	1. 已於 110 年 11 月 4 日以線上會議方式辦理完成長達 6 小時的教育訓練。	1. 已於 109 年 10 月 26 日辦理完成長達 4 小時的教育訓練。

第參章、實作資料蒐集與演算模式建構

為了在現行森林資源調查架構下，具體實現森林物件自動化判釋之目標，多元資料的解讀與使用是本計畫最為重要的一環。在本期也蒐集相當數量的航攝影像、林型圖資、數值地形模型等，且包含最新版的「林型暨土地覆蓋型圖資」，整理各資料之用途於表 3-1。為了精進亦趨複雜的判釋模型，在「實作資料蒐集」工作中，擴充 DMC 航攝影像提升訓練樣本數量，並補充不同時期或季節拍攝之航攝影像，加強物候特徵的表現。此外，於模型訓練完成後，取用正射影像進行測試，考驗模型對不同影像的判釋能力，以評估應用多元的高解析影像優化模型之可行性；在「演算模式建構」中，本計畫將對既有的模型進行更新與擴充，包含改善前一期反投影偏差的問題，提升模型的判釋精度，同時延續樹種判釋模型，將訓練目標擴充至林型與其他樹種之判釋。

表 3-1 實作資料蒐集於模型建構過程之用途

資料內容	資料用途	資料來源
DMC 航攝影像	樹種、林型判釋模型之訓練資料	林務局農林航空測量所
林型暨土地覆蓋型圖資	樹種、林型判釋模型之標記資料	林務局農林航空測量所
永久樣區調查資料	標記資料正確性驗證	林務局農林航空測量所
20 公尺數值地形模型	產製地形因子，作為判釋模型之訓練資料	內政部地政司
其他多元影像 (正射影像)	測試模型判釋能力，評估未來可能的優化方向	林務局農林航空測量所

一、實作資料蒐集

(一) 航攝影像蒐整

本計畫延續前期(109 年)規劃，持續使用 DMC 航攝影像(如圖 3-1)作為主要的訓練資料，DMC 航攝影像包含紅光(Red)、綠光(Green)、藍光(Blue)與近紅外光(Near Infrared, NIR)4 個波段的光譜特徵。DMC 航攝影像之詮釋資料記錄資料格式如表 3-2，欄名為該欄位記錄的資料屬性，範例為該欄位需填入的資料格式，備註則詳細說明該資料的意義，如第一欄的 NAME，可填入的格式為 070510_b_21_0001_a，每個值都可於備註找到其代表意義。



圖 3-1 DMC 航攝影像

本期已蒐集 DMC 航攝影像共計 3,248 幅(含前期 718 幅)，篩選條件為林型圖資中的純林(即單一樹種)位置，影像的空間分布如圖 3-2，從圖可發現台灣森林大多集中於山區；而拍攝時間分布如圖 3-3，藍色為前期影像的年月分布，綠色為本期新增的影像年月分布，折線則為兩期影像加總之年月分布。從圖 3-3 發現由上述林型圖資中純林位置所篩選之影像，月份分布上除 4、9 兩月外，都有不少的影像，主要是因 4、9 兩月為其他作物收割期，航拍任務較無規劃

森林區域所至。本期亦補足了原本夏季影像不足的部分，且增加了更多新影像，使模型精度能更加提升。

表 3-2 DMC 航空攝影記錄檔格式說明

	欄名	範例	備註與說明
1	NAME	070510	拍攝日期 (西元 2007 年 5 月 10 日)
		b	航高代號 (航高約 9,000 呎)
		21	航線
		0001	影像編號
		a	品質 (a 佳、b 有碎雲或霾氣)
2	E	201250.207	X 坐標 TWD97
3	N	2666169.734	Y 坐標 TWD97
4	H	2568.975	橢球高
5	E	200421.79	X 坐標 TWD67
6	N	2666375.375	Y 坐標 TWD67
7	H	2550.117	正高
8	LN	21	航線
9	DATE	960510	日期 (民國 96 年 5 月 10 日)
10	TIME	1130	曝光時間 (11 點 30 分)
11	SEC	20.772	秒
12	MAPID	95213061	基本圖圖號 (有圖號表示該照片落於對應圖號中心點 300 公尺範圍內)
13	SC	4	相機代號 (4 表示使用 DMC 數位航空攝影機)
14	RI	1	航攝目的 (1 臺灣全區航攝、2 多光譜掃描、3 水稻、4 其他、5 災害)
15	MP	y	可否製圖 (y 適合 1/5000 製圖、n 不適合)
16	DP	36	航向 (36 北向、18 南向、其他)

(行政院農委會林務局，民 107)

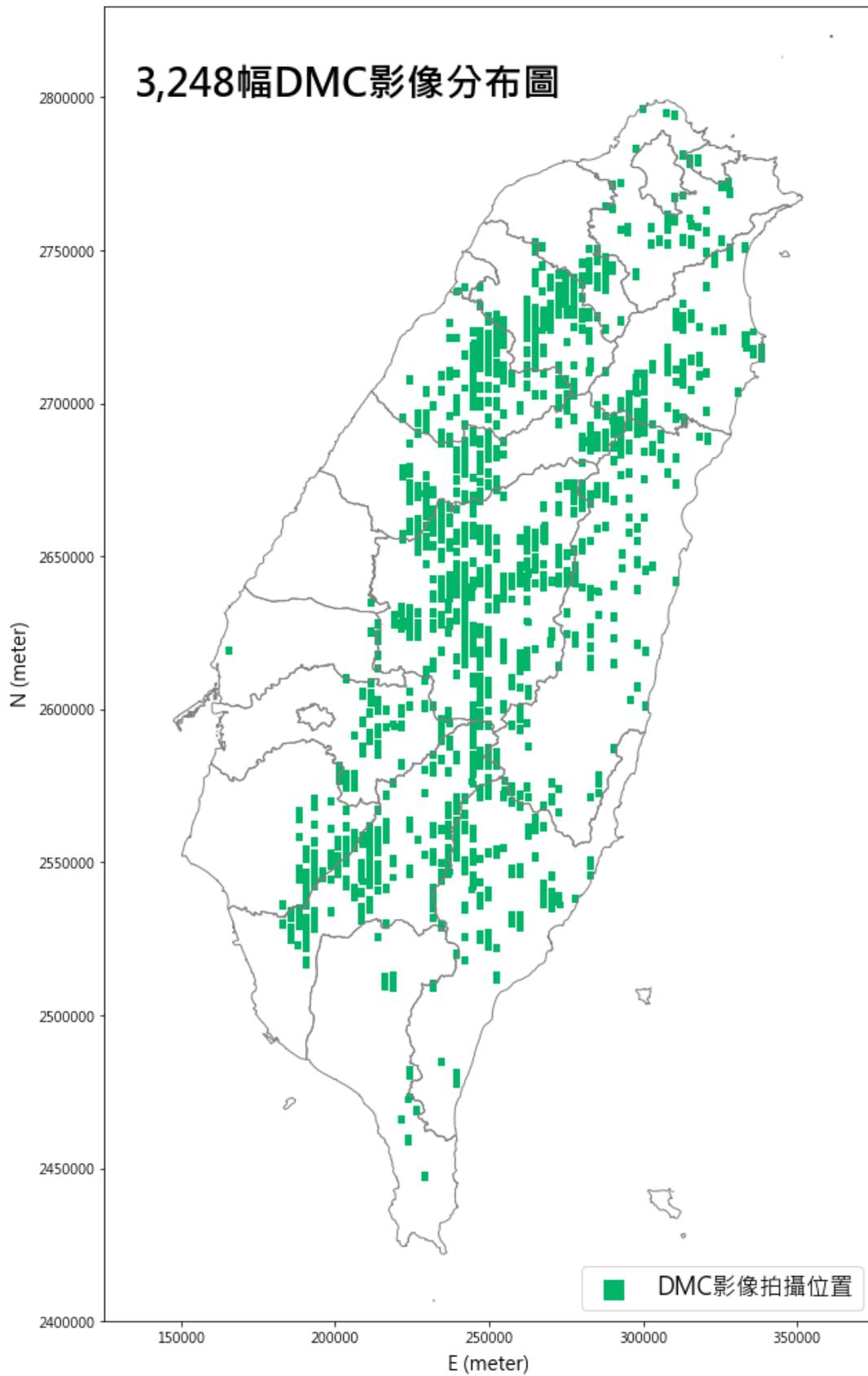


圖 3-2 本計畫蒐集之航攝影像空間分布

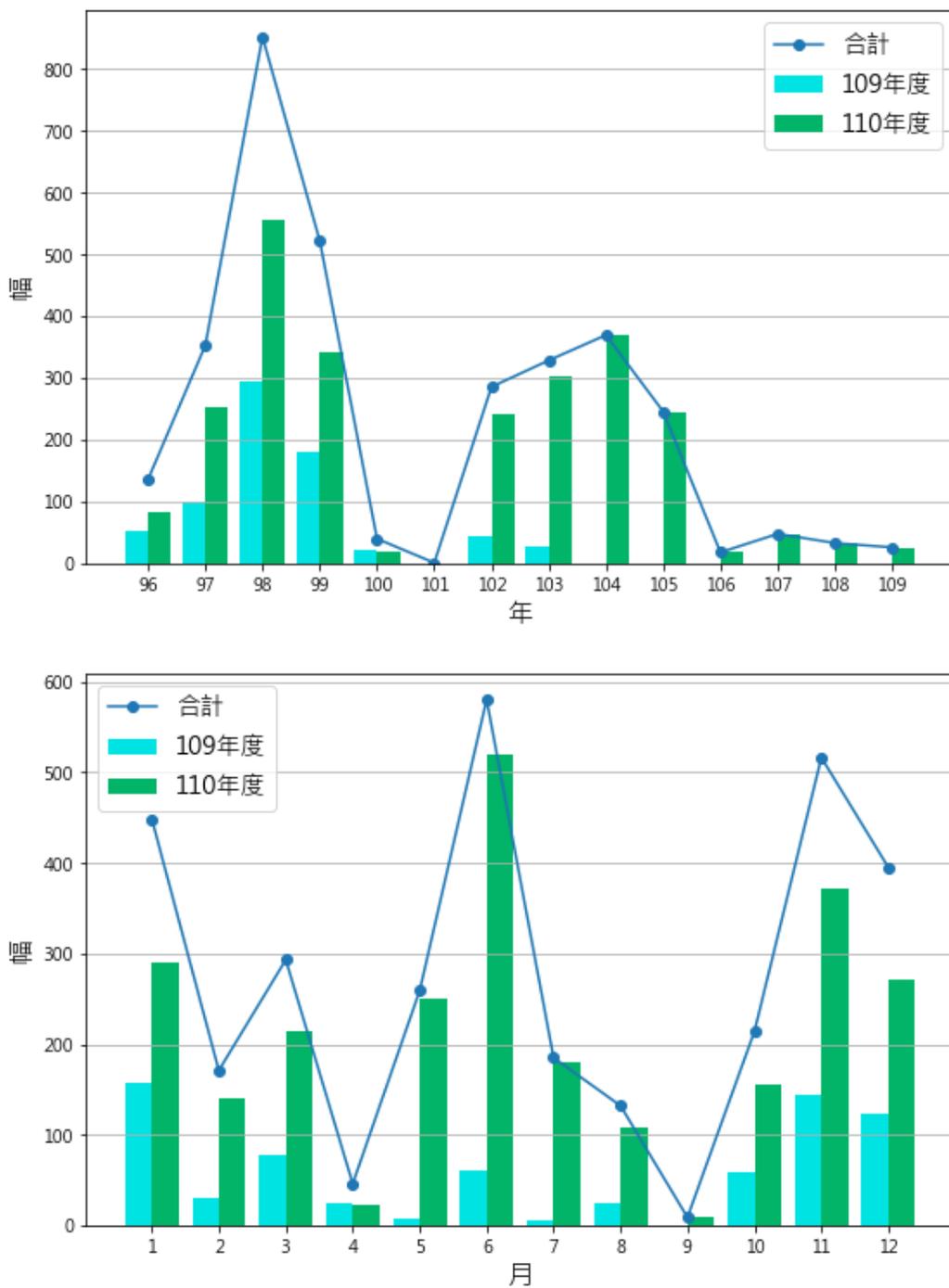


圖 3-3 航攝影像時間分布(109 年與 110 年)

(二) 現地資料蒐整

森林資源調查是提供森林資源經營之資訊來源，亦為森林經營決策之依據。近年來由於森林資源在經濟面、社會面及環境面所扮演的角色有所轉變，因此以往的各项森林資源調查，是否能提供各層面之資訊需求，實有探討之必要。森林資源調查除一般學術單位或研究機關，依其需求進行森林資源資料之收集、分析、研究之外，林務局亦為業務推動建立更具系統性之調查計畫，辦理不同尺度的調查，其豐富的現地調查資料，即是機器學習模型訓練之重要學習依據，配合相應的航攝影像資料，將提升本計畫模型分類之成效，以下針對本計畫所使用的調查資料逐一說明之。

1. 全國性森林資源調查

自民國 43 年以來，林業相關單位便開始執行森林資源調查計畫，以平均 15 年至 20 年的更新頻率，至今已完成了四次全國性森林資源調查。森林資源調查的成果雖能反映調查當時現況，但若無適當的後續複查規劃，其資料將隨時間遞演，逐漸與真實狀況脫節，使其成效及應用價值大為縮減，有鑑於此，除了森林資源調查外，林務局亦規劃了數次的檢訂調查，並更新為新版的林型暨土地覆蓋型圖資。所謂檢訂調查，是基於原始的森林資源調查圖資，進行資料的檢核與校正更新，因此在實際編修作業時，除非整個林型邊界已有大幅更動，否則基本上不會變動林型的邊界，僅更新林型的屬性資料或是圖徵分割，使圖資能維持一定的一致性。

現行林型分類採三層級分類作法，除考量與國際接軌外，亦與內政部分類系統相互對應，以利成果整合及相互流通。第一層分類參考政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)之規範，將土地使用分成「森林 FL」、「農田 CL」、「定居地 SL」、「草地 GL」、「濕地 WL」與「其他土地 OL」六大類別；第二層分類(IPCC2)則是依據森林經營管理需要再予以細分，其中森林依其樹種組成比例，可分為「針葉樹林型」、「闊葉樹林型」、

「針闊葉樹混淆林」、「竹林」、「竹闊混淆林」、「竹針混淆林」、「竹針闊混淆林」與「待成林地」8種林型，其中「待成林地」為有稚樹天然更新或新植造林地的廢耕地、伐木跡地、森林火災跡地等。分類出林型後，註記第三層分類(IPCC3)中的主要組成樹種，並以二種為限。綜整本計畫之研究目的，優先採用 109 年完成的林型暨土地覆蓋型圖資中的「林地 FL」類別與第二層分類作為主要現地資料，林地清查統計資料與林型分布如表 3-3、圖 3-4 所示，其中表 3-3 的林型不考慮樹種，例一區有檜木與松樹，則都會被歸類為針葉樹林型。

在 109 年計畫中，已選定第二層分類中的 11 種樹種進行模型訓練；在本計畫(110 年)規劃中，除延續既有成果，增進樹種判釋模型的判釋數量與分類精度，亦增加林型判釋模型，分類出「針葉樹林型」、「闊葉樹林型」與「竹林」三個類別，並透過單純林型的判釋歸納混淆林型組成，詳細流程與相關定義將於後續章節進行討論與說明。

表 3-3 台灣林型面積覆蓋率統計

林型	總面積(公頃)	覆蓋率
闊葉樹林型	1,348,106	66.52%
針葉樹林型	295,802	14.60%
竹林	97,884	4.83%
針闊葉樹混淆林	167,441	8.26%
竹闊混淆林	89,177	4.40%
竹針混淆林	673	0.03%
竹針闊混淆林	209	0.01%
待成林地	27,362	1.35%
合計	2,026,655	100%

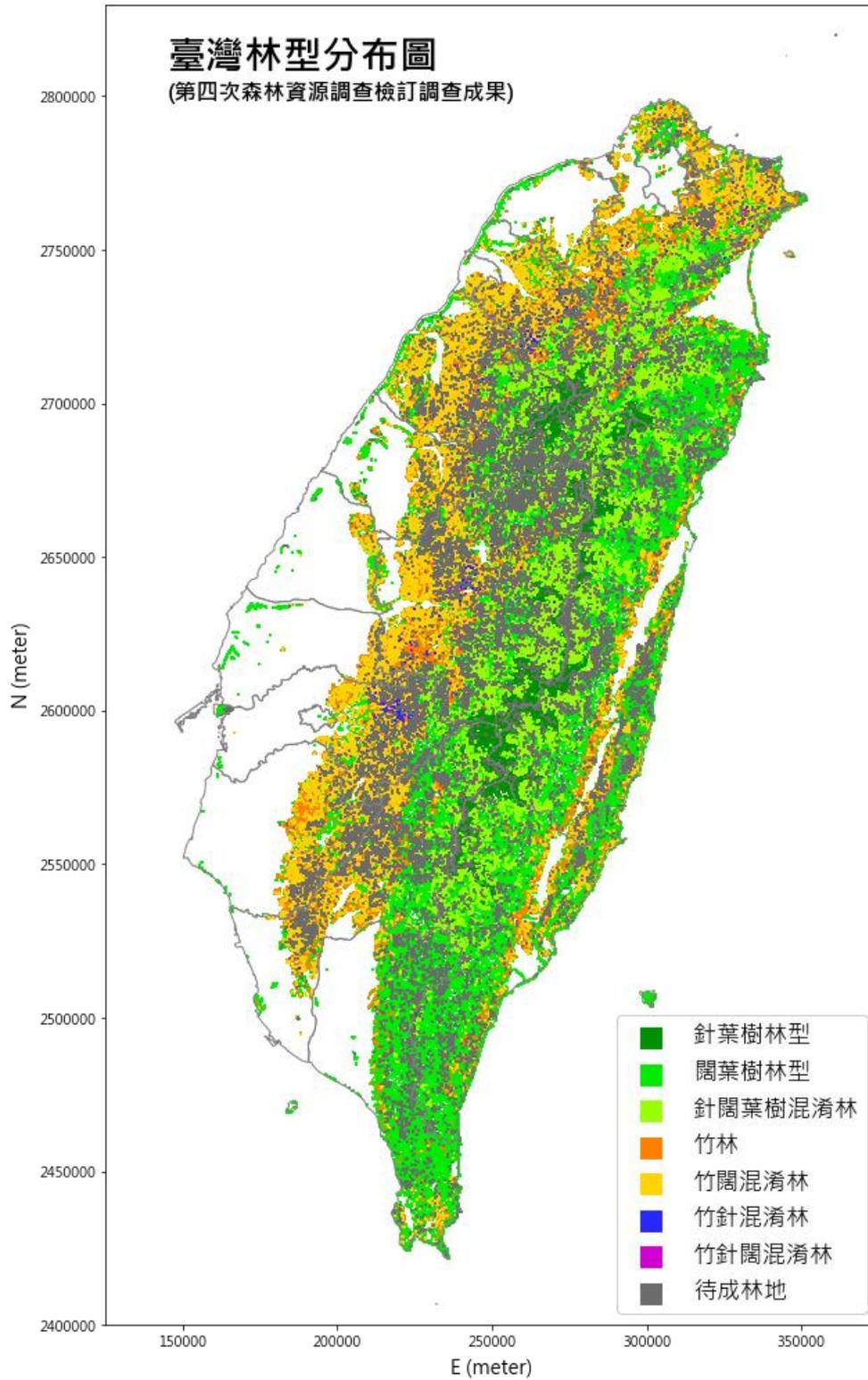
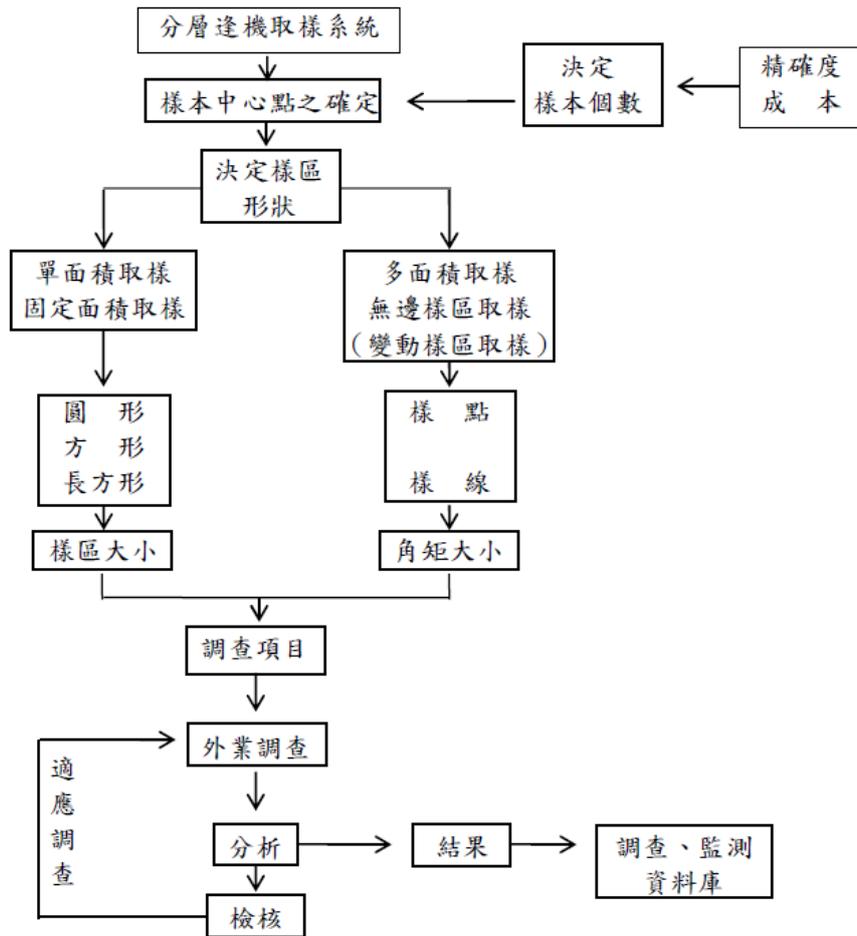


圖 3-4 森林林型分布圖

2. 永久樣區調查

為有效掌握林分時間及空間動態演變之目標，林務局設置永久樣區(Permanent Sampling Plot, PSP)，進行長期監測以觀測林分生長、森林組成、結構、蓄積等動態變化和對不同林分處理反應之狀況，實為建立有效林分經營體系中不可或缺的一環。所謂永久樣區，係指一個取樣單位在設置及記錄樣本個數、樣區面積、形狀等資料之後，持續於下一次的調查工作中，在相同位置進行重覆測量，以了解不同時間狀態之變化，設立流程如圖 3-5，詳細說明可參考馮豐隆的森林測計學。因林業之經營屬於長期性之工作，在時間推移的過程中，林分的變化過程，是林業經營者最希望能夠掌握的資訊，這也顯示設立永久樣區的嚴謹性與必要性。

林務局於民國 87 年至 91 年依序初設森林永久樣區，並規劃每 5 年複查 1 次。調查重點為林木或林型的定期生長量。透過提供健全的現地調查資訊，以協助主管機關建立完善的森林監測系統。探究其立意，永久樣區調查與檢訂調查均係為了充分掌握森林資源與林木蓄積，所進行的大規模野外巡查，調查項目繁多，且忠實記錄了樣區內所有動植物生態情況。在本計畫中已取得 109 年最新的永久樣區調查的資料，將其結果歸納至 IPCC2 的分類如圖 3-6，由於現有的檢訂調查篩檢過程繁瑣，難以一次性的在計畫期程內快速檢查，因此將規劃系統性的專家辨識編修方法，並利用此資料配合本團隊的森林資源專家知識，確認各個樣區在第四次森林資源調查檢訂調查中的 IPCC 分類原則下，是否被正確歸納於既有的類別中，進一步驗證林型圖資與模型產出的正確性，透過交叉比對的方式，確保放入模型標記資料的正確性，從根源提升模型預測之精度。



(馮豐隆，民 94)

圖 3-5 永久樣區設立流程圖

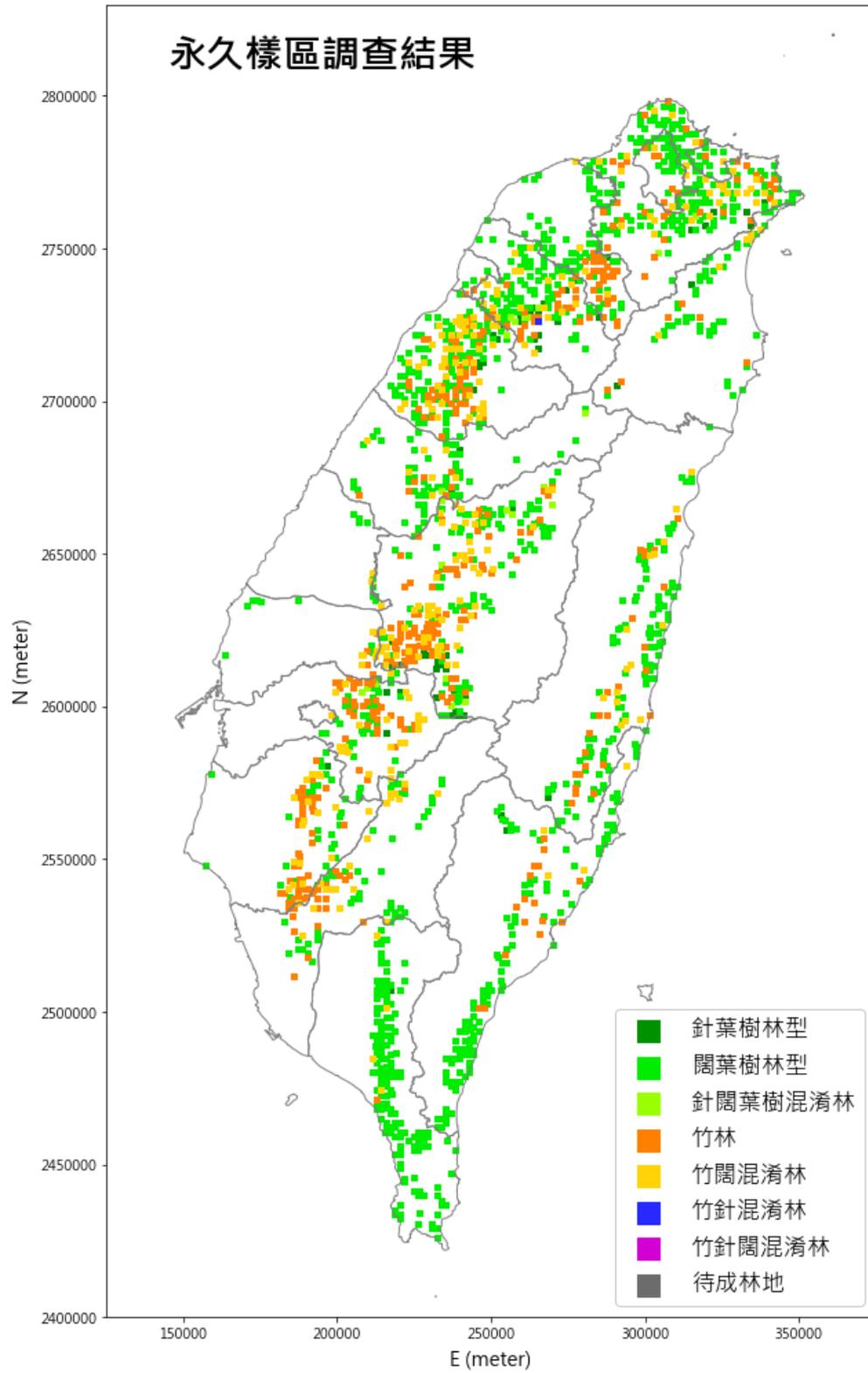


圖 3-6 森林永久樣區依 IPCC2 重新分類結果

(三) 地文資料蒐整

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，一般可解釋為用數值坐標表示的地形模型，亦即用三度空間 X、Y、Z 坐標值來表示地表位置和高程的一種模式。DTM 最早由美國麻省理工學院提出，發展至今應用範圍甚廣，如防救災、建築景觀設計、水文分析、國土利用、地形分析等，都可藉此得到更好的資訊萃取與數據分析。

按分析之需求，DTM 可以萃取出如等高線、坡度圖、面積、體積、地形起伏分析圖等地理資訊，亦可將數值地形資料直接供像片正射糾正，糾正像點因地形高度產生的高差位移。模型高程點之間隔愈小，所測得之數值地形愈精確，惟測量費用及時間亦必相對增加。除此之外，依據資料萃取的差異可再分為數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)與數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)。

本計畫延續前期(109 年)之方法，使用內政部於 105 年透過航攝影像 3D 數化而成的 20 公尺解析度 DEM 萃取出五種地形因子，和 DEM 本身一同作為訓練參數(如圖 3-7)，其萃取之因子說明如下。

1. 坡度(Slope)

坡度分析是計算兩相鄰網格單元間的數值變異率，亦即地表的陡緩程度，在輸出圖層中，每個網格都有一個坡度值。因此，數值越低者，表示地形越平坦；數值越高者，表示地勢越陡峻。

2. 坡向(Aspect)

坡向反應斜坡的方向。以 DEM 計算坡向時，通常定義坡向為各網格單元所產生的曲面上，某點切平面的法線的正方向在平面上與正北方之夾角，即法向量水平投影量的方位角。坡向的值介於 0 至 360 度。

3. 粗糙度(Roughness)

粗糙度為地形的變異程度，主要利用數值統計的方法來表示地表平坦、地形高差變化的參數，透過計算範圍內最大值與最小值之差，表現地表起伏變化和侵蝕程度，參考方程式如式 3-1，其中 Z 為 $n \times n$ 範圍內的所有高程值，本計畫所使用的 n 為 3。

$$R_n = Z_{max} - Z_{min}$$

式 3-1

4. 地形位置指數(Topographic Position Index, TPI)

一種用於區分地形特徵的數值指標，包含峽谷、平地或斜坡，可透過計算中心網格與周圍網格高程差之平均計算之。參考方程式如式 3-2，其中 e 表示為中心網格高程值。

$$TPI = e - \sum_{i=1}^8 e_i / 8$$

式 3-2

5. 地形堅固指數(Terrain Ruggedness Index, TRI)

一種用於表達數值高程網格相鄰單元之間的高程差量。透過計算中心網格與周圍八個網格個別的高程差，並針對差值平方後加總開根號。參考方程式如式 3-3，其中 e 表示為中心網格高程值。

$$TRI = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (e - e_i)^2}$$

式 3-3

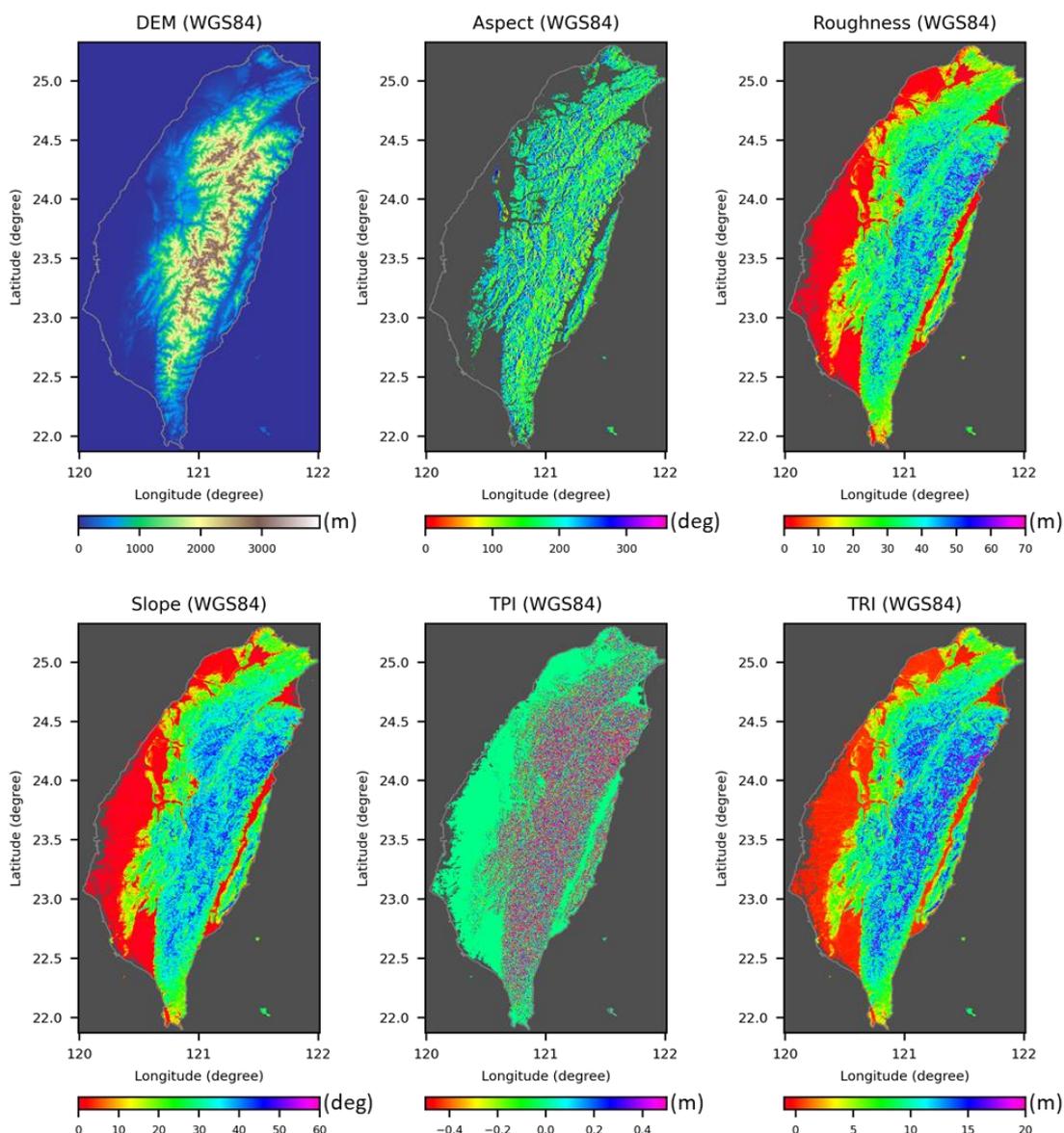


圖 3-7 地文因子萃取成果圖

(四) 其他影像資料蒐整

除上述應用於模型訓練的影像或特徵資料外，本計畫也在模型訓練完成後，取用所內正射影像進行測試，考驗既有模型面對不同影像的樹種與林型判釋能力。以下即說明正射影像於森林資源調查使用之場景與特性，作為影像蒐集與測試之參考。

為能迅速將航攝影像提供應用，農航所自民國 95 年下半年起藉由空中 GPS 儀器搭載 IMU 系統資料，經解算獲取相機拍攝瞬間的位

置及姿態與數值航照影像，搭配數值地形模型將中心投影之航空像片，逐點糾正成正射投影，並加註說明(如圖號、圖名、坐標及固定比例尺)製成正射影像，其可供應之產品包含正射影像圖與正射影像檔，正射影像圖是利用數位正射影像資料檔以精密繪圖儀輸出，圖資尺寸為 60cmx75cm，比例尺為 1/5000。正射影像檔是將數位正射影像資料儲存於 tif 影像、tfw 坐標檔頭資料、dxf 圖框註記等檔案，網格解析度為 25cm。

在本期(110 年)計畫中，已蒐集正射影像共計 1,252 幅，其中推掃式數位影像(ADS40)正射糾正後的影像有 412 幅，框幅式數位影像(DMC)正射糾正後的影像有 832 幅，而框幅式類比影像掃描後正射糾正的影像有共 8 幅，其影像空間分布如圖 3-8，拍攝時間分布如圖 3-9，綠色為推掃式數位影像(ADS40)、藍色為框幅式數位影像(DMC)。

有鑑於本計畫訓練出的模型係針對帶有近紅外光波段的航攝影像進行設計，沒有近紅外光波段無法進行判釋，故對這 1,252 張正射影像進行分類，發現有近紅外光波段的影像僅 307 張，剩下的 945 張都沒有近紅外光波段，未來若要將正射影像納入訓練，需先對影像進行篩選後方能訓練。

透過蒐集正射影像，可間接驗證 DMC 影像訓練而成的判釋模型之通用性，並評估應用多元的高解析影像優化模型之可行性，以及模型擴散使用之效益，其測試結果將於後續章節進行說明。

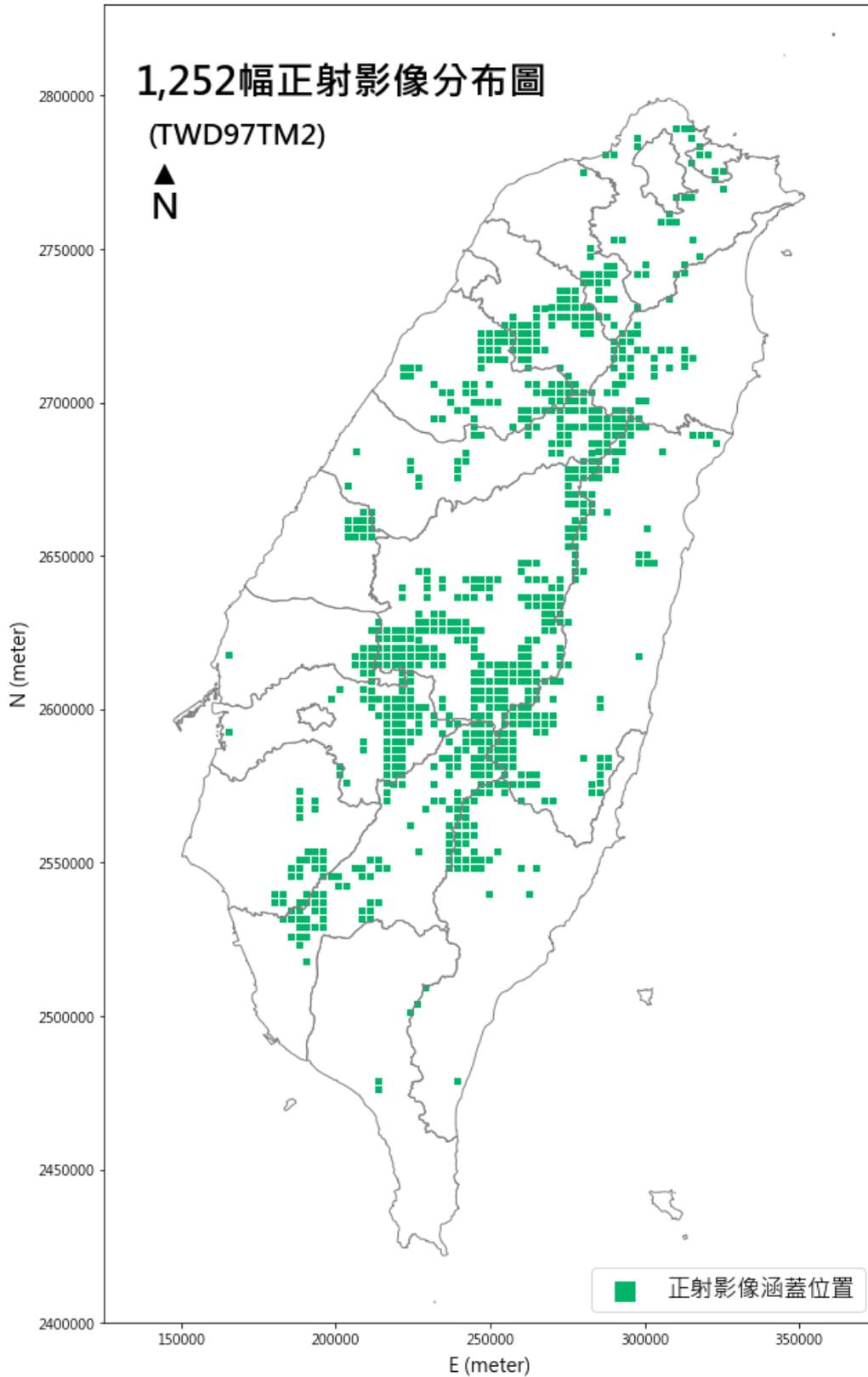


圖 3-8 本計畫蒐集之正射影像空間分布

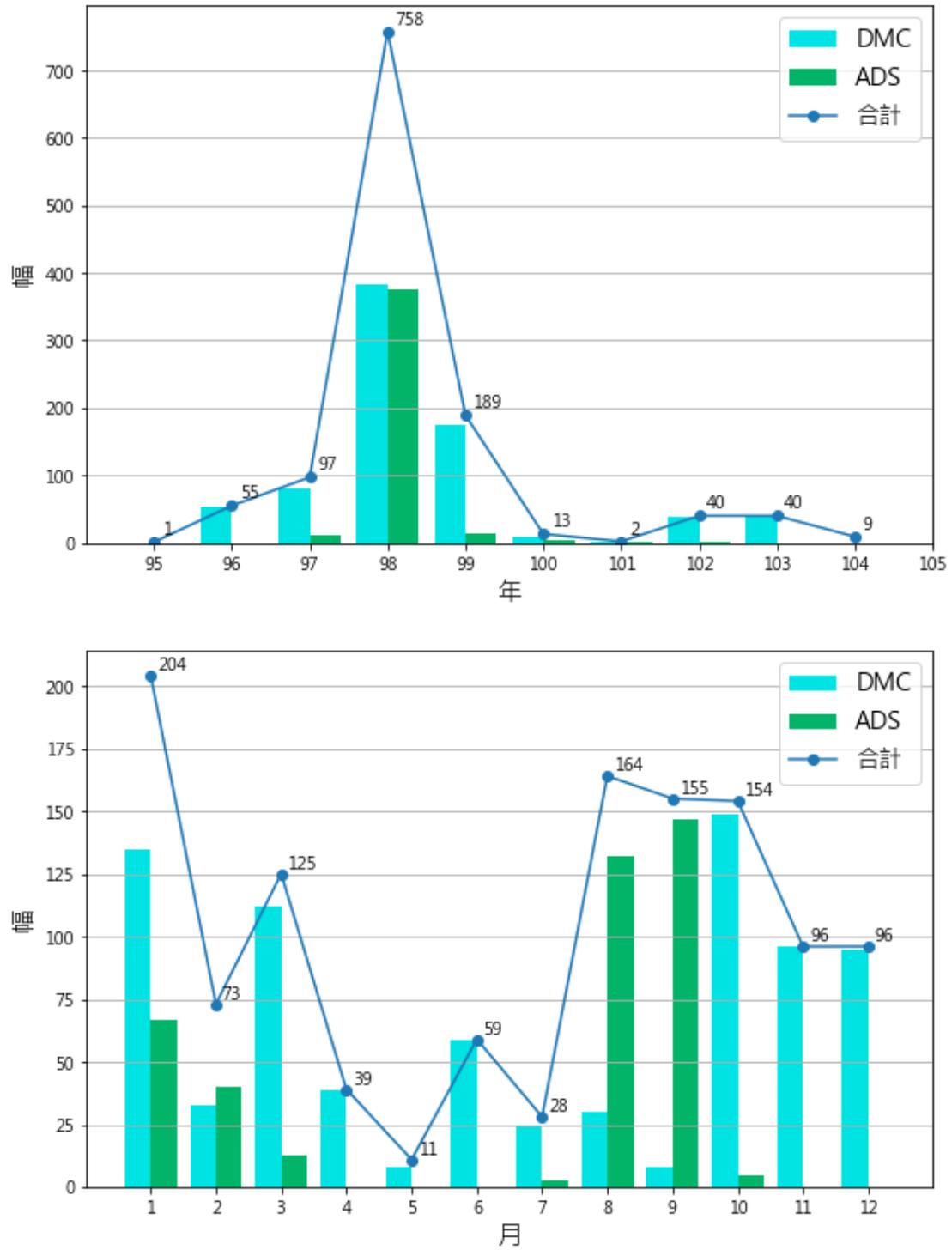


圖 3-9 正射影像時間分布

二、演算模式建構

繼資料蒐集之後，本節將說明既有的樹種判釋模型分類流程(圖 3-10)，包含「訓練資料產製流程」與「機器學習訓練流程」，並說明流程中的演算模式如何改進和擴充。模式建構基本上延續前期計畫的資料處理流程，本期(110 年)專注於機器學習演算法於判釋模型的改善與優化，故除了透過變更反投影使用的高程參數(正高取代橢球高)改善反投影誤差問題，主要著重於機器學習訓練流程的調整，藉由訓練樣本資料的增加、特定效能提升方案之測試，及擴充樹種判釋類別，來獲得更符合實務應用需求的模型產出。

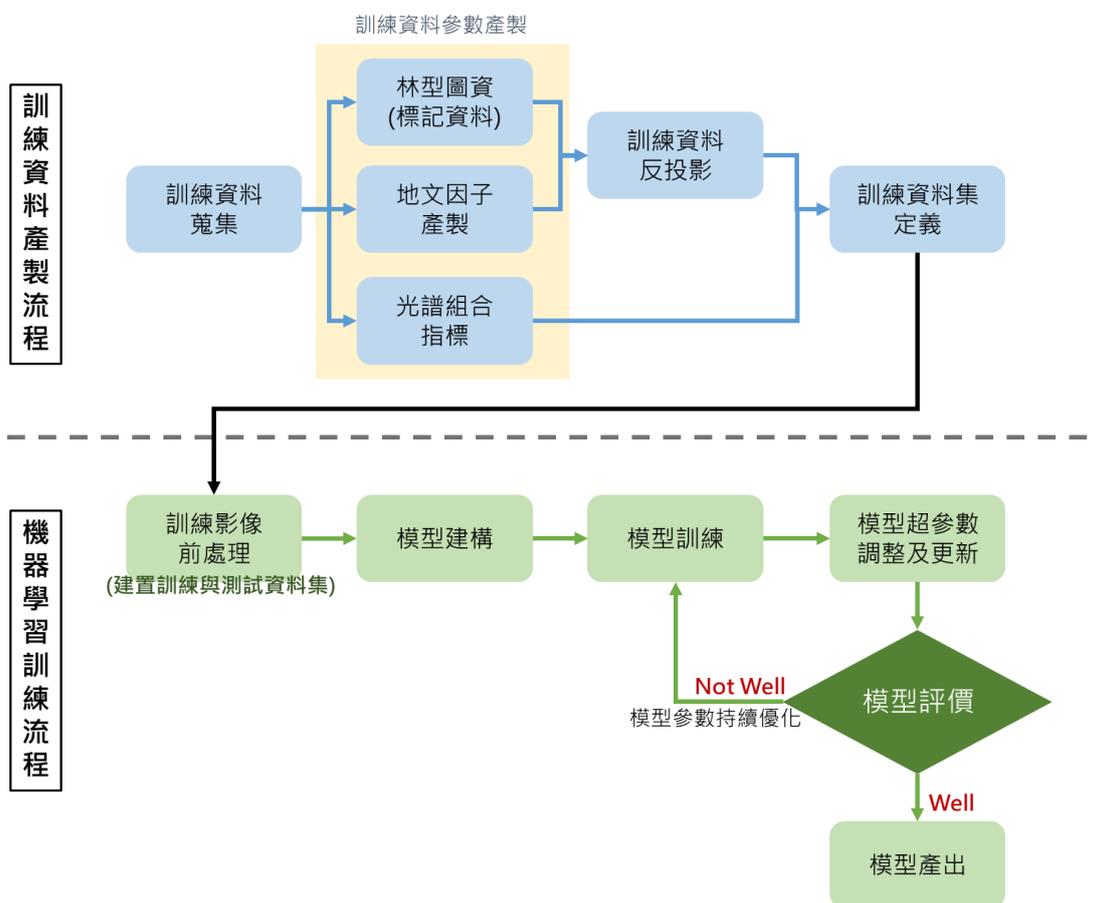


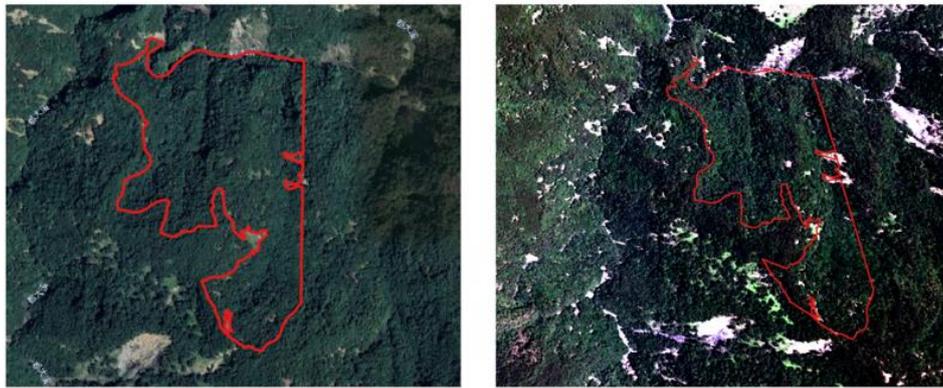
圖 3-10 樹種判釋模型分類流程

(一) 反投影偏移改善成果

如圖 3-10 所示，在原有的「訓練資料產製流程」中，包含訓練資料之蒐集、參數產製、反投影，以及訓練資料集之定義。為提升林型圖標記圖框之效率與準確性，考量林型圖資的產製，是基於正射影像所圈繪的空間紀錄，與航攝影像不完全相同，因此無法直接套疊網格化的圖資與航空照片。為此，在前期(109 年)計畫中開發了反投影模組，將林型圖資的位置反向計算，取得對應原始航空照片上的位置關係，以利機器學習模型精準掌握目標林型進行訓練。

為了正確反演林型圖標記資料在航空照片的位置，使用 DEM 的高程資訊與共線條件式等方法完成反投影的數學關係式計算，並排除圖框變形的問題，得到原始航攝影像上的林型圖框如圖 3-11，圖左紅框為透過正射影像圈繪之樹種範圍，圖右為將同一圖框反投影至航攝影像後的實際位置。

在本期(110 年)計畫最初的規劃方案，本係透過產製 DSM 方式進行反投影以改善偏移誤差，但幾經測試、委員建議以及所內多次會議討論後，考量以機器學習建構森林覆蓋型辨識之計畫核心主軸，應避免投入過多時間成本於攝影測量空間修正的專業檢校工作，因此取消建構產製 DSM 的流程與實測。選擇維持前期計畫的資料處理流程，並依據所內圖資分析經驗，使用正高作為高程參數，即將反投影模組原本的高程參數從橢球高改為正高。圖 3-12 為調整前後比較，紅線為使用正高反投影後的林型圖框，藍色為使用橢球高反投影後的林型圖框，疊圖比較會發現紅線的偏移量較藍線小，完成高程改正後，同樣採用內縮圖框 25 公尺的方式剔除模糊邊界或高程產生的誤差邊界，盡可能確保訓練資料的品質，具體提升精度可參考後面章節的模型訓練成果。



正射投影

反投影

圖 3-11 原始林型圖框與反投影後實際位置

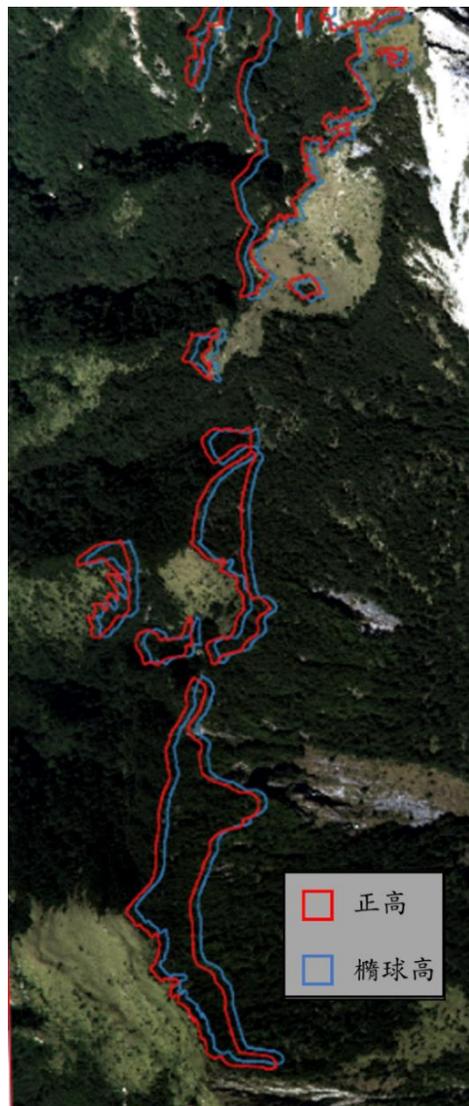


圖 3-12 反投影高程參數調整之結果比較

(二) 判釋模型改良與擴充

如圖 3-10 所示，在原有的「機器學習訓練流程」中，已包含訓練影像前處理、模型建構、模型訓練與模型超參數調整及更新，並通過模型評價得到樹種判釋模型。因此，訓練影像前處理同樣包含機器學習領域中常見的影像處理方法，如影像遮蔽、影像切片、影像篩選與資料增強，圖 3-13 為經過影像處理後的樹種訓練樣本示意圖，黑色部分為非樹種區域，將其遮蔽避免模型錯誤學習，而訓練的影像尺寸則維持前期(109 年)測試結果，使用 512x512 像素進行。

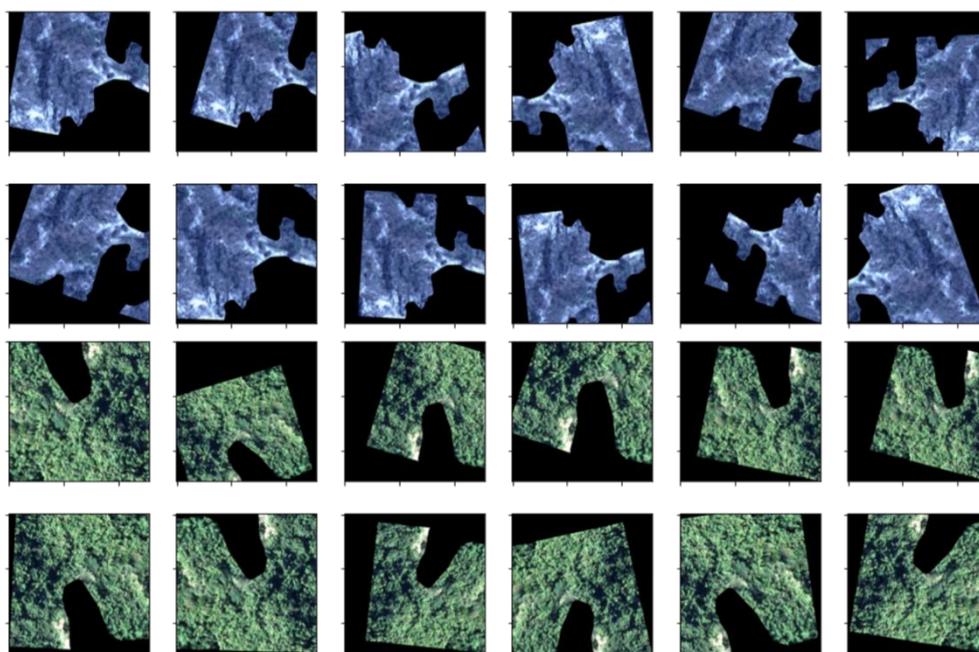


圖 3-13 經影像前處理後的訓練資料案例圖

在本期(110 年)計畫中，對判釋模型的訓練更加嚴謹，在篩選林型圖框標記資料過程，基本上只以純林圖徵作為標記資料，除非該樹種極度稀少，才會考慮降低門檻；在資料品管上，也協同專家加強檢視檢訂調查林型圖框屬性的合理性，並透過現地調查資料與專家檢核能排除前期(109 年)計畫過程發現的錯誤屬性目標資料，然而實際上現有的篩檢過程繁瑣、缺乏效率，難以一次性的在計畫期程內快速檢查，因此於自動化流程建置之章節規劃系統性的專家辨識

編修方法。整體而言，搭配影像數目的提升、專家品管檢核，以及反投影偏移改善，標記資料量能夠更多且更加準確，使模型在進行學習時，能夠更精準的學到目標樹種之特徵；而在模型架構的運用上，本期計畫同樣採用卷積神經網路(CNN)與深度神經網路(DNN)混合模型進行模型的更新與訓練。

本期計畫為了強化林型判釋模型的能力，即便樹種影像資料較為缺乏，依然可以在林型判釋上提供有利的判釋資訊，因而擴大判釋樹種數量達 19 類(圖 3-14)。另外，在維持訓練架構不變的情況下，除了原有的 11 項特徵，另增加 5 種光譜組合指標包含 SAVI、ARVI、ExGI、GCC 與 GLI 進行訓練模型之擴充，這 5 種指標將於第五章有詳細說明，特徵因子擴充之相關架構比較如圖 3-15 所示，經前期不斷測試實驗後，最終定調出三組學習特徵來強化訓練架構，包含 10 個影像光譜與植被特徵、5 個地文因子，以及受人工植栽復育影響較多的坡向特徵。

為了有效確認模型訓練成果，除模型本身的訓練精度外，也透過誤差矩陣評估方法進行驗證(表 3-4)。誤差矩陣主要包含使用者精度(User's Accuracy, UA)、生產者精度(Producer's Accuracy, PA)、整體精度(Overall Accuracy, OA)與 Kappa 指標，其計算方法如式 3-4 至 3-7。透過誤差矩陣便能迅速了解模型的判釋好壞，相較於模型精度是模型在訓練時透過驗證資料(Valid Data)計算精度，誤差矩陣的整體精度是透過 7,888 筆測試資料(Test Data)進行計算，所以和模型精度的值會不大相同。相比於前期(109 年)的誤差矩陣統計成果(表 3-5)整體精度 OA 為 65.3%，Kappa 值 0.618；本期的 19 類樹種判釋之誤差矩陣統計成果(表 3-6)整體精度 OA 達 73.0%，Kappa 值為 0.700，顯示樣本數的增加與專家品管檢核擴充之成效，表 3-5 與表 3-6 中，綠色是分類正確數量佔全部之比例，紅色為分類錯誤數量佔全部之比例，白色區域則是生產者精度(PA)與使用者精度(UA)。相關模型規格與精度比較如表 3-7 所示。

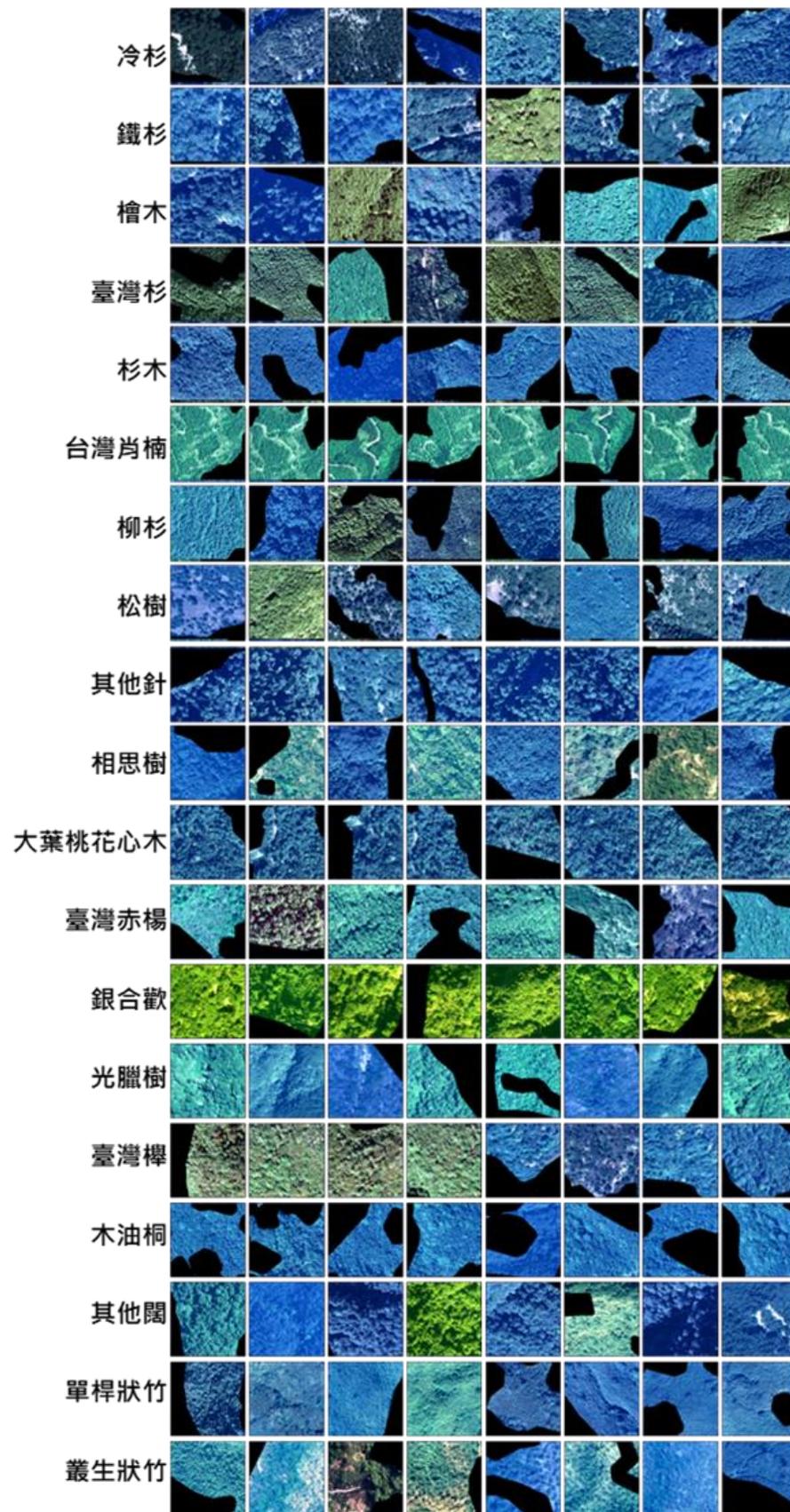


圖 3-14 本計畫判釋模型 19 類隨機抽取的樹種訓練樣本

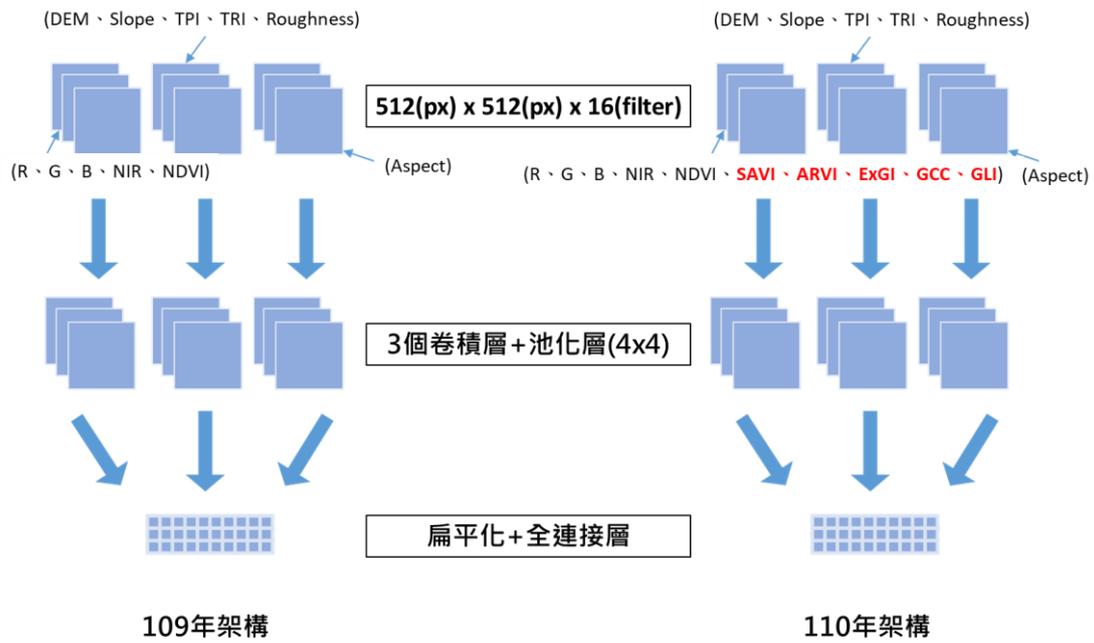


圖 3-15 樹種判釋模型架構擴充示意圖

表 3-4 誤差矩陣對照表

誤差矩陣		分類成果			
		類別 1	...	類別 N	生產者精度：PA
現地資料	類別 1	X_{11}	...	X_{1N}	PA_1
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	類別 N	X_{N1}	...	X_{NN}	PA_N
	使用者精度：UA	UA_1	...	UA_N	-
整體精度：OA			Kappa 指標：K		

$$UA_i = \frac{X_{ii}}{X_{i1} + \dots + X_{iN}}$$

式 3-4

$$PA_i = \frac{X_{ii}}{X_{1i} + \dots + X_{Ni}}$$

式 3-5

$$OA = \frac{X_{11} + X_{22} + \dots + X_{NN}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij}}$$

式 3-6

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}, \text{ 其中 } P_0 = OA,$$

$$P_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij}} \sum_{k=1}^N \left(\frac{X_{kk}}{PA_k} \times \frac{X_{kk}}{UA_k} \right)$$

式 3-7

表 3-5 109 年計畫樹種判識誤差矩陣 (值為百分比)

	單桿狀竹	叢生狀竹	台灣赤楊	相思樹	冷杉	鐵杉	柳杉	台灣杉	杉木	松樹	檜木	PA
單桿狀竹	4.61	1.41	0.08	0.00	0.08	0.12	1.09	0.20	1.05	0.00	0.16	52.45
叢生狀竹	0.47	7.34	0.00	0.43	0.00	0.00	0.20	0.04	0.39	0.00	0.00	82.75
台灣赤楊	0.00	0.04	6.68	0.00	0.00	0.04	0.55	0.27	0.16	0.66	1.25	69.22
相思樹	0.20	1.64	0.00	7.11	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	78.82
冷杉	0.04	0.00	0.08	0.00	5.70	3.13	0.00	0.00	0.00	0.12	0.23	61.29
鐵杉	0.00	0.00	0.08	0.00	0.12	6.48	0.00	0.04	0.00	0.82	1.05	75.44
柳杉	0.12	0.12	0.20	0.04	0.00	0.00	5.70	1.45	0.47	0.04	1.52	59.07
台灣杉	0.04	0.00	0.27	0.00	0.00	0.12	0.82	6.09	0.27	0.20	1.13	68.04
杉木	0.31	1.13	0.04	0.16	0.00	0.00	1.52	0.74	5.43	0.00	0.27	56.50
松樹	0.04	0.00	0.43	0.00	0.08	1.45	0.16	0.08	0.12	3.75	1.76	47.77
檜木	0.00	0.00	0.55	0.00	0.08	1.17	0.31	0.63	0.00	0.59	6.41	65.88
UA	79.21	63.28	79.52	91.98	94.21	51.84	54.81	63.90	68.82	60.78	46.79	

表 3-6 110 年計畫樹種判識誤差矩陣

誤差矩陣		分類結果																				總和	PA
		冷杉	鐵杉	檜木	台灣杉	杉木	臺灣青楠	柳杉	松樹	其他針	相思樹	大葉桃花心木	台灣赤楊	銀合歡	光臘樹	台灣檫	木油桐	其他闊	單籽欖竹	叢生欖竹			
現地資料	冷杉	557 (7.06%)	65 (0.82%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	6 (0.08%)	33 (0.42%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	663	84.01%	
	鐵杉	39 (0.49%)	520 (6.59%)	4 (0.05%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	79 (1.00%)	17 (0.22%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	6 (0.08%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	665	78.20%	
	檜木	3 (0.04%)	23 (0.29%)	345 (4.37%)	56 (0.71%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	3 (0.04%)	120 (1.52%)	78 (0.99%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	31 (0.39%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	664	51.96%	
	台灣杉	0 (0.00%)	0 (0.00%)	22 (0.28%)	471 (5.97%)	5 (0.06%)	0 (0.00%)	61 (0.77%)	1 (0.01%)	4 (0.05%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	52 (0.66%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	20 (0.25%)	0 (0.00%)	23 (0.29%)	6 (0.08%)	1 (0.01%)	666	70.72%	
	杉木	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	59 (0.75%)	0 (0.00%)	26 (0.33%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	39 (0.49%)	0 (0.00%)	132	44.70%	
	臺灣青楠	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	4	25.00%	
	柳杉	0 (0.00%)	0 (0.00%)	15 (0.19%)	95 (1.20%)	9 (0.11%)	0 (0.00%)	437 (5.54%)	3 (0.04%)	0 (0.00%)	12 (0.15%)	0 (0.00%)	7 (0.09%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4 (0.05%)	1 (0.01%)	14 (0.18%)	64 (0.81%)	3 (0.04%)	664	65.81%	
	松樹	5 (0.06%)	106 (1.34%)	16 (0.20%)	6 (0.08%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	466 (5.91%)	28 (0.35%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	34 (0.43%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	3 (0.04%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	664	70.18%	
	其他針	6 (0.08%)	11 (0.14%)	10 (0.13%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	10 (0.13%)	337 (4.27%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	10 (0.13%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	385	87.53%	
	相思樹	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	602 (7.63%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	6 (0.08%)	31 (0.39%)	10 (0.13%)	0 (0.00%)	650	92.62%	
	大葉桃花心木	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4	0.00%	
	台灣赤楊	0 (0.00%)	1 (0.01%)	3 (0.04%)	8 (0.10%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	8 (0.10%)	35 (0.44%)	2 (0.03%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	400 (5.07%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	23 (0.29%)	7 (0.09%)	0 (0.00%)	488	81.97%	
	銀合歡	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	25 (0.32%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	26	3.85%	
	光臘樹	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	64 (0.81%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	5 (0.06%)	0 (0.00%)	70	91.43%	
	台灣檫	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	13 (0.16%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	38 (0.48%)	0 (0.00%)	12 (0.15%)	4 (0.05%)	0 (0.00%)	70	54.29%	
	木油桐	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	15 (0.19%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	60 (0.76%)	1 (0.01%)	1 (0.01%)	0 (0.00%)	78	76.92%	
	其他闊	0 (0.00%)	0 (0.00%)	5 (0.06%)	33 (0.42%)	5 (0.06%)	0 (0.00%)	20 (0.25%)	11 (0.14%)	2 (0.03%)	68 (0.86%)	0 (0.00%)	75 (0.95%)	0 (0.00%)	25 (0.32%)	22 (0.28%)	4 (0.05%)	339 (4.36%)	47 (0.60%)	10 (0.13%)	666	50.90%	
	單籽欖竹	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	18 (0.23%)	8 (0.10%)	0 (0.00%)	42 (0.53%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	17 (0.22%)	0 (0.00%)	10 (0.13%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	1 (0.01%)	35 (0.44%)	512 (6.49%)	18 (0.23%)	665	76.99%	
	叢生欖竹	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (0.03%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	35 (0.44%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	3 (0.04%)	2 (0.03%)	3 (0.04%)	39 (0.49%)	66 (0.84%)	512 (6.49%)	664	77.11%	
	總和	610	726	424	704	87	1	600	731	501	754	0	627	1	96	89	75	554	764	544	7,888	100.00%	
UA	91.31%	71.63%	81.37%	66.90%	67.82%	100.00%	72.83%	63.75%	67.27%	79.84%	0.00%	63.80%	100.00%	66.67%	42.70%	80.00%	61.19%	67.02%	94.12%	100.00%			

表 3-7 樹種判釋模型擴充與改良規格比較

	110 年計畫	109 年計畫
模型架構	CNN 與 DNN	CNN 與 DNN
樹種類別	19 類	11 類
樹種清單	<ol style="list-style-type: none"> 針葉林種 9 種，包含冷杉、鐵杉、檜木(紅檜、扁柏)、台灣杉、杉木(巒大杉、杉木等)、臺灣肖楠、柳杉、松樹(二葉松、五葉松等)與其他針¹。 闊葉林種 8 種，包含相思樹、大葉桃花心木、臺灣赤楊、銀合歡、光臘樹、臺灣櫟、木油桐與其他闊²。 竹類 2 種，叢生狀竹與單桿狀竹。 	<ol style="list-style-type: none"> 針葉林種 7 種，檜木(紅檜、扁柏)、松樹(二葉松、五葉松等)、杉木(巒大杉、杉木等)、台灣杉、柳杉、鐵杉與冷杉。 闊葉林種 2 種，相思樹與台灣赤楊。 竹類 2 種，叢生狀竹與單桿狀竹。
特徵參數	16 組	11 組
特徵清單	<ol style="list-style-type: none"> 影像波段 4 項參數 Red、Green、Blue 與 NIR。 地文因子 6 項參數 DEM、Slope、Aspect、Roughness、TPI 與 TRI。 光譜組合指標 6 項參數 NDVI、SAVI、AVRI、ExGI、GCC 與 GLI。 	<ol style="list-style-type: none"> 影像波段 4 項參數 Red、Green、Blue 與 NIR。 地文因子 6 項參數 DEM、Slope、Aspect、Roughness、TPI 與 TRI。 光譜組合指標 1 項參數 NDVI。
整體精度	73%	65.3%
Kappa	0.700	0.618

註¹：其他針為其他針葉樹簡稱，係指非森林資源調查之重要樹種或無法確認之針葉樹種。

註²：其他闊為其他闊葉樹簡稱，係指非森林資源調查之重要樹種或無法確認之闊葉樹種。

第肆章、機器學習運算資源效能測試

為實現模型自動化判釋以輔助圈繪作業，同時滿足巨量高解析航攝影像與模型預測等運算分析之負載，本計畫盤點國內外常見雲端平台服務，探討其性能與服務內容，作為農航所未來自動化方案之參考，並掌握運算服務趨勢與規格，作為模型建構之運算框架限制。在效能測試中，將依據第參章所陳述的機器學習模型建構流程，記錄各項工作的操作時效與硬體效能花費，作為建置業務系統的規格參考，進一步評估是否將系統佈署於雲端平台，亦或設計本地端設備系統，以達到節省人力、降低成本、提高效率之具體方案。

一、國內外運算資源盤整

雲端運算指的是雲端服務供應商所提供的伺服器服務，透過網路消費者能夠完成各式各樣的運算需求，包含大數據分析、伺服器管理、系統平台服務等，且僅需支付固定的雲端服務費用，不再需要投資龐大的軟硬體資源與花費大量人力時間進行硬體端的維運，長遠來說使用者可以更專注地完成既定任務的發展。因此，本節優先盤整國內外最具服務規模的服務供應商，透過服務優勢的掌握，進而檢視本計畫樹種判釋軟硬體需求，藉此掌握未來模型落地運行所需之成本投入。

(一) 國外雲端服務資源

在國際的雲端服務資源中，公有雲端計算平台市佔率最高的前三大雲端供應商(圖 4-1)，分別包含亞馬遜的 AWS(Amazon Web Services)、微軟的 Azure 與 Google 的 GCP(Google Cloud Platform)，各自都有各自的優勢及劣勢，分別適合用在各種案例上。

1. AWS：

亞馬遜的功能強大是因它本身的工具巨集正以指數級的速度增長，然而其成本與其他平台相比來說是較高的，且它僅關注於公有雲上而不是私有雲或混合雲，意謂著與數據中心進行互相操作並不是 AWS 的主要任務。

2. Microsoft Azure：

具有傑出的雲端基礎結構，是 AWS 最主要的競爭對手，而 Azure 藉由企業佈署的 windows 或其他 Microsoft 軟體，快速進入市場，而它最大的優勢是可以與您正在運行的數據中心互相操作，達到混合使用的功效。

3. GCP：

在雲端平台競爭中，GCP 較晚進入雲端市場，且其背景相較其他平台沒這麼資金充足，但其技術專長深厚，在深度學習和人工智能、機器學習和數據分析方面有顯著的優勢。

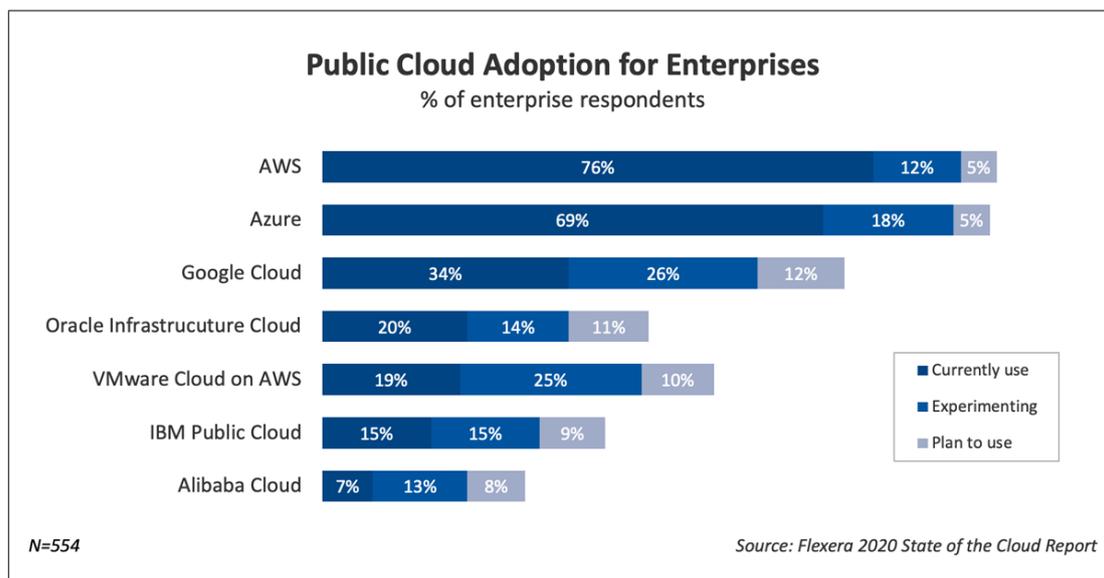


圖 4-1 常見雲端服務用量排名

針對三大雲端服務，本計畫綜整各官網所陳列的運算服務(表 4-1)與儲存服務(表 4-2)規格，並提供優劣趨勢分析(表 4-3)，作為未來 AI 判釋服務擴大需求之參考。

表 4-1 三大雲端運算服務功能比較

供應商	AWS	AZURE	GCP
運算服務	<ol style="list-style-type: none"> 1. EC2 2. 彈性容器服務 3. Kubernetes 彈性容器服務 4. 彈性容器註冊表 5. Lightsail 6. 批量處理 7. 彈性 Beanstalk 8. Fargate 9. 自動擴展 10. 彈性負平衡 11. VMware Cloud on AWS 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 虛擬機 2. 虛擬機規模集 3. Azure 容器服務(AKS) 4. 容器實例 5. 批量處理 6. 服務結構 7. 雲端服務 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 計算引擎 2. Kubernetes 3. 功能 4. 容器安全性 5. 圖形處理單元(GPU) 6. App Engine 7. Knative

表 4-2 三大雲端儲存服務功能比較

供應商	儲存服務	數據庫服務	備份服務
AWS	<ol style="list-style-type: none"> 1. 簡單儲存服務(S3) 2. 彈性塊儲存(EBS) 3. 彈性文件系統(EFS) 4. 儲存網關 5. Snowball 6. Snowball Edge 7. Snowmobile 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aurora 2. RDS 3. DynamoDB 4. ElastiCache 5. Redshift 6. Neptune 7. 數據庫遷移服務 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Glacier
AZURE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Blob 儲存 2. 隊列儲存 3. 文件儲存 4. 磁盤儲存 5. Data Lake 儲存 	<ol style="list-style-type: none"> 1. SQL 數據庫 2. MySQL 數據庫 3. PostgreSQL 數據庫 4. 數據倉庫 5. 服務器拉伸數據庫 6. Cosmos DB 7. Redis 緩存 8. 數據工廠 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 存檔儲存 2. 備份 3. 站點恢復
GCP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 雲端儲存 2. 永久磁碟 3. 傳輸設備 4. 傳輸服務 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cloud SQL 2. Cloud Bigtable 3. Cloud Spanner 4. Cloud 數據存儲 	N/A

表 4-3 三大雲端服務優劣分析

供應商	優勢	劣勢
AWS	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主導的市場地位 2. 廣泛而成熟的產品 3. 對大型組織的支持 4. 廣泛的培訓全球影響力 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用困難 2. 成本管理 3. 壓倒性的選擇
AZURE	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第二大提供商 2. 與 Microsoft 工具和軟體結合 3. 廣泛的功能集 4. 混合雲 5. 支持開源 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 文檔問題 2. 管理工具不完整
GCP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 專為雲原生業務設計 2. 致力於開源和可移植性 3. 大幅折扣和靈活的合同 4. DevOps 專業知識 	<ol style="list-style-type: none"> 1. IaaS 市場的新進入者 2. 功能和服務較少 3. 歷來並非以企業為中心

(二) 國內雲端運算服務 TWCC

由科技部國研院國網中心結合廣達、臺灣大、華碩等三大國內企業共同組隊建造的 AI 雲端平台 TWCC (Taiwan Computing Cloud, 臺灣 AI 雲), 是使用 2018 年底刷新臺灣於世界排名紀錄的 AI 超級電腦「臺灣杉二號」, 運用 2,016 個 NVIDIA Tesla V100 32GB GPU, 具備 9 PFLOPS (每秒執行 9 千兆次浮點運算) 的優異效能, 其 GPU 系統能以最佳能源效率提供最高效能, 與全球各地速度最快的超級電腦為同等級的系統。TWCC 在運算服務上主要分為三種容器運算服務、虛擬運算服務與高速運算(表 4-4), 在儲存服務上則可分為高速儲存服務、虛擬磁碟服務, 以及雲端物件儲存服務(表 4-5)。用戶可根據情境需求進行選擇。其中 TWCC 以最新之容器化技術提供服務, 透過優化過的 AI 軟體堆疊, 開發人員可快速佈建開發環境, 相較過往可增加 40% 的工作效率; 另外可支援大量調度節點與 GPU, 跨節點高速平行運算效能相較現行雲服務更增進 30%。

有鑑於本計畫影像資料之高度機敏性需求, 特別針對 TWCC 資安策略進行了解, TWCC 部署了新世代防火牆(Next-Generation Firewall)網路安全設備, 對於進出的網路流量進行資安政策管控,

降低服務主機遭到外部攻擊的資安風險。包含實施存取控制(Access Control)、降低暴險範圍(Exposed Surface)以及應用服務識別與管理(Application Identification and Management)。另外，網路型入侵偵測防禦系統，有效降低網路攻擊所帶來的威脅，搭配入侵偵測(Intrusion Detection)、威脅防禦(Threat Prevention)與網路威脅情資(Cyber Threat Intelligence)。其他措施還包含 DDoS 攻擊偵測與緩解系統、SIEM 資安事件管理平台、SOC 網路流量監控系統、分散式儲存架構與資料加密…等。最終再透過 VPN、基礎虛擬防火牆與 Web 應用程式防火牆的方式確保使用者能夠安全無虞的使用雲端服務。

TWCC 除了提供快速運算能力、大量儲存空間及安全的網路外，此平台亦將整合國內各界發展之 AI 程式與工具、以及國內外重要資料集，彙集成為國內最大的模式市集與資料市集，提供產學研界更即時便利的運算服務。因此，本計畫團隊已於 110 年 3 月 19 日拜訪國網中心洽談相關應用需求(圖 4-2)，並於後續洽談取得台智雲(Taiwan Web Service Corporation, TWCC 商業用戶服務窗口)的容器運算服務(CCS)試算報價(圖 4-3)，以 8 張 GPU、32 核心 vCPU 和 720GB 記憶體規格來看，每小時約 348 元。全年無休(8760 小時)不考慮停機的狀態一年約 305 萬台幣。然而考量到在實際的運作需求上，模型訓練與預測的時間並非永不間斷，因此以 1000 小時來算，價格約 35 萬台幣。另外針對雲端的儲存需求，若以 10TB 的 SSD 固態硬碟作考慮，一年價格約 24 萬台幣，合計的含稅價格約 62 萬元。

表 4-4 TWCC 運算服務規格比較

服務	容器運算服務	虛擬運算服務	高速運算
功能與特色	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 適用 AI 模型訓練與推斷 ◆ 可隨時調整參數，利於開發 ◆ 資源選項固定 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 功能與一般虛擬機雷同，適合架設服務伺服器 ◆ 可調整網路及安全相關設定 ◆ 資源選項固定 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 跨節點運算 ◆ 命令列介面 ◆ 彈性選用 GPU 數量
資源規格	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 最多可調用 8 顆 GPU ◆ 資源比 GPU:CPU:RAM(GB)1:4:90 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 提供 vCPU，最多可調用 48 核 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 可彈性依需求調整 GPU 數量
儲存空間	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 高速儲存服務，註冊帳號及獲得 200GB，可依需求增購空間 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 虛擬運算個體系統碟(100 GB) ◆ 虛擬磁碟服務附加資料碟，可自行選擇容量 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 高速儲存服務，註冊帳號及獲得 200 GB，可依需求增購空間

表 4-5 TWCC 儲存服務規格比較

服務	高速儲存服務	虛擬磁碟服務	雲端物件儲存服務
搭配運算服務	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 容器運算服務 ◆ 高速運算服務 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 虛擬運算服務 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 藉由 TWCC CLI 與容器運算服務及虛擬運算服務傳輸資料
價位	高	中	低
資料傳輸	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 透過 SFTP 上傳及下載檔案 ◆ 透過 TWCC CLI 與雲端物件儲存服務進行傳輸 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 透過 TWCC CLI 與雲端物件儲存服務進行傳輸 ◆ 使用 SSH 連線虛擬運算個體，掛載且初始化虛擬磁碟，並透過 SFTP 上傳與下載檔案 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 透過第三方軟體上傳及下載檔案

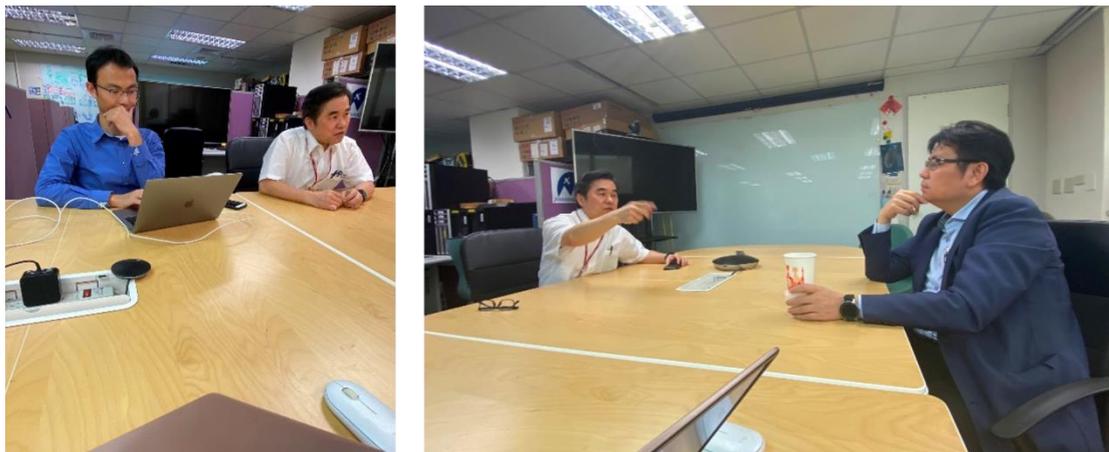


圖 4-2 拜訪國網中心洽談運算需求 (110 年 3 月 19 日)

項次	產品內容說明	計價單位	數量	單價	小計
1	TWCC容器運算服務(CCS) GPU: Nvidia Tesla V100 32GB CPU: Intel Xeon Gold 61系列			年約	
	型號: c.4xsuper 規格: 8 GPU + 32 vCPU + RAM 720GB	小時	1,000	348	348,000
2	TWCC虛擬磁碟服務(VCS)				
	固態硬碟(SSD): 10 TB=10,240 GB	月	12	1.95/GB	239,616
				合計	587,616
付款類型	<input type="checkbox"/> 預付 (請於__年__月__日前繳清所有費用) <input type="checkbox"/> 月結				
營業稅5%					29,380.8
含稅總計(5%營業稅已內含，不滿一元者應四捨五入，計至元為止)					616,997
總計：新台幣 萬 仟 佰 拾 元 整					

圖 4-3 台智雲雲端服務報價 (110 年 7 月 2 號)

(三) 農航所本地端運算環境

為了進一步掌握硬體資源對於樹種判釋等各項工作內容之效能差異與影響，本計畫將農航所的本地端運算資源規格與現階段計畫團隊所使用之硬體規格進行比較(表 4-6)，使用軟體 CPU Benchmark 進行比較(圖 4-4)，會發現農航所的 CPU 運算能力略差於團隊目前使用之硬體資源，然此結果僅供參考，仍要依使用情形為主，故規劃實際測試農航所硬體效能，具體測試方法如下一小節所述。

本計畫透過蒐整國內外雲端規格資訊，掌握應用需求，並研擬適當的高速運算服務方案，同時亦須考慮在機敏資料保密協定的要求下，確保完善資安策略的同時，有效節省人力維運硬體的空間成本。因此，除了持續積極與國網中心、台智雲公司接洽，確認可用之運算資源及儲存方案，同時在既有模型未達成熟可廣泛使用之階段，應善用農航所既有資源，規劃 AI 模型訓練與判釋之運算測試，採以本地端設備作為初期優先方案之選擇。

表 4-6 硬體規格比較

硬體	興創(計畫廠商)規格	農航所規格
CPU	Ryzen Threadripper 2990WX (32 核 64 執行緒，基頻 3.0GHz)	Intel® Xeon® Gold 6226 (12 核 24 執行緒，基頻 2.7GHz)
RAM	128GB DDR4 2933MHz	64GB DDR4 2933MHz
HDD	6TB/7200rpm × 1	4TB/7200rpm × 4
SSD	1TB NVMe × 1	1TB NVMe × 2
GPU	Nvidia Titan RTX × 1	Nvidia Quadro P620 × 1 Nvidia GeForce RTX 3090 × 1

	Intel Xeon Gold 6226 @ 2.70GHz	AMD Ryzen Threadripper 2990WX
Price	\$1620 ¹	\$1795.27
Socket Type	FCLGA3647	sTR4
CPU Class	Server	Desktop
Clockspeed	2.7 GHz	3.0 GHz
Turbo Speed	Up to 3.7 GHz	Up to 4.2 GHz
# of Physical Cores	12 (Threads: 24)	32 (Threads: 64)
Max TDP	125W	250W
Yearly Running Cost	\$22.81	\$45.63
First Seen on Chart	Q1 2020	Q2 2018
# of Samples	2	212
Cross-Platform Rating	42352	48254
Single Thread Rating	2104	2330
CPU Mark	19810	32276

圖 4-4 軟體 CPU Benchmark 比較

二、訓練流程與效能測試

本計畫以自動化作業為目標，在實作上選擇 Python 開源程式碼進行開發，對於既有的「訓練資料產製」與「機器學習訓練」過程(圖 3-10)，部分操作流程可設計平行化運算方法，加速航攝影像批次處理操作與模型訓練分析之測試，以下針對重要的處理流程說明效能測試之結果，以及前往農航所進行的測試結果。

(一) 判釋模型資料處理流程紀錄

本節主要記錄重要的前處理流程時效，包含圖 3-10 中的地文因子產製、訓練資料網格化與反投影、訓練資料批次裁切、模型訓練與模型預測產圖所需之時間，並作為 AI 自動化運算作業規劃之重要參考。

1. 全臺地文因子產製

以 105 年內政部公開的 20 公尺解析度之 DEM 產製全臺地形特徵參數，包含坡度、坡向、粗糙度、TPI 與 TRI 五項參數，已可在 10 分鐘內完成，為一次性的前處理作業，其產製成果如圖 3-7 所示。

2. 訓練資料網格化與反投影

為了將林型圖圖框與地文因子映射在每一幅航攝影像(共 3,248 幅)上，因此模型訓練前處理工作需優先建立航攝影像(平面坐標)與地表地形(空間坐標)的空間位置關係，上述工作的處理時效統計如圖 4-5 上所示，平均單幅影像處理時間約 41.01 秒。確定空間對應關係後，將地文因子(標記資料)與林型圖圖框(學習目標)依循此關係完成反投影計算，反投影處理時效統計如圖 4-5 下所示，平均單幅影像約耗時 6.67 秒。綜上所述，平均每幅航攝影像的反投影處理約需 48 秒。

3. 訓練資料批次裁切

為提升模型訓練的效率並降低影像寫入寫出的負載，在確定標記資料的位置後，會根據其圖框範圍進行矩形裁切、遮罩遮蔽等處理，設計上採用 512x512 像素(pixels)為裁切單元，並記錄每幅影像處理之時間，如圖 4-6 所示，平均約 92.32 秒。由於每一幅影像涵蓋的樹種範圍並不一致，程式裁切出用於訓練的矩形圖框數量不一，因此產製的時間有較大的落差。

4. 模型訓練時間

除了前處理外，模型訓練其實是相當費時的，訓練的速度取決於硬體效能，在本計畫的幾次實作中，平均一次重新訓練樹種判釋模型約需迭代 70 次，所需時間約為 70 小時。

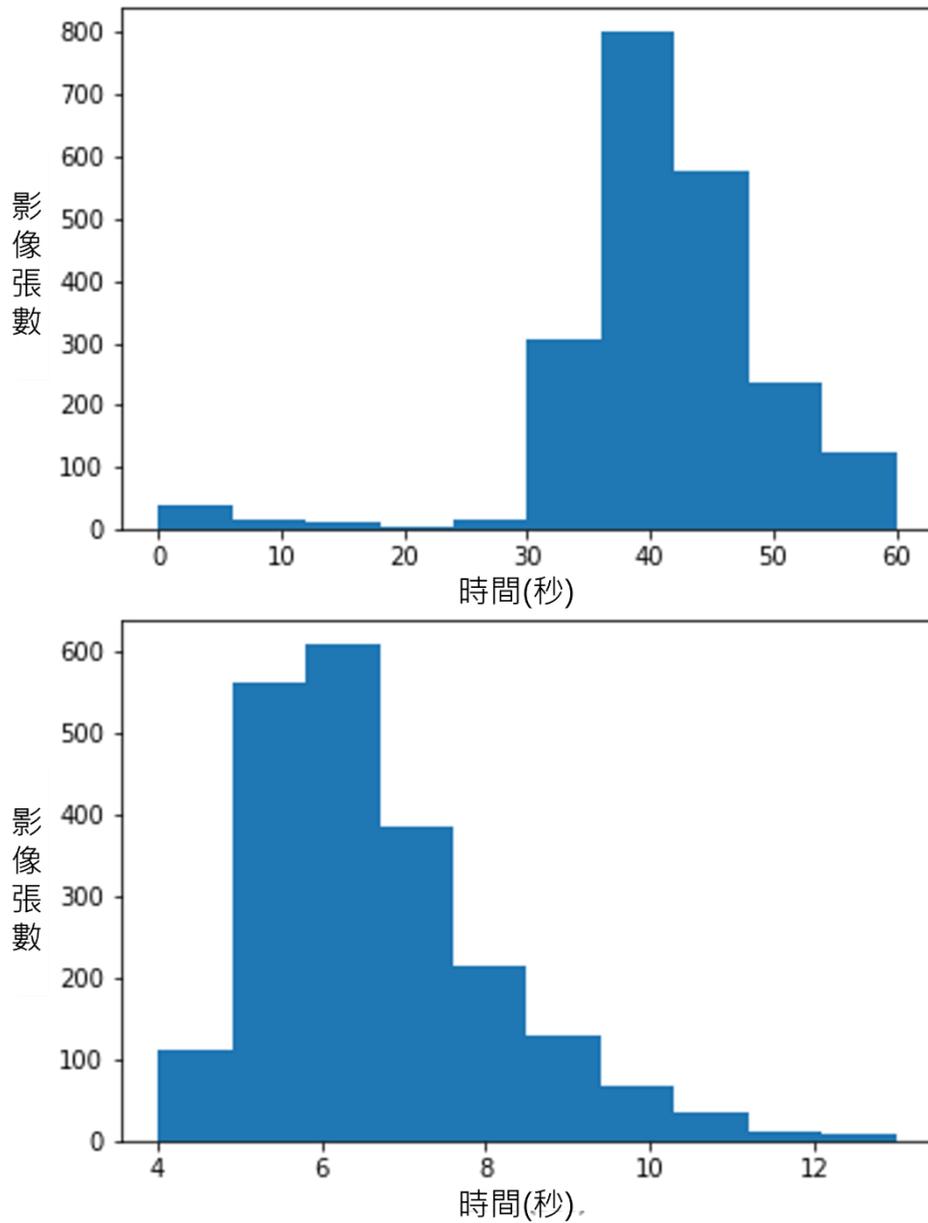


圖 4-5 資料前處理所需時間 (上為建立對應關係，下為計算反投影)

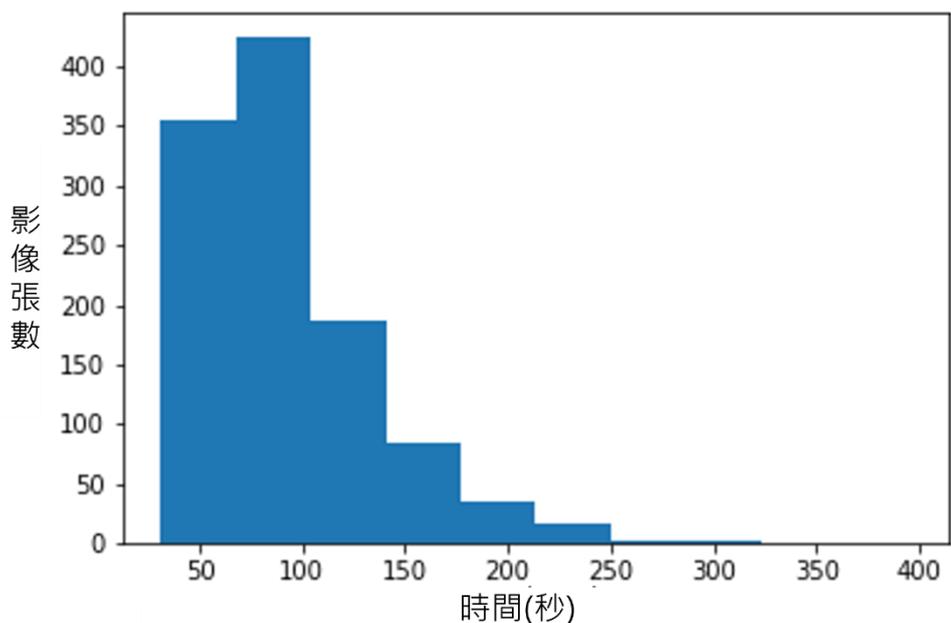


圖 4-6 影像裁切所需時間

(二) 硬體資源效能測試

為確實掌握硬體資源對於樹種判釋等各項工作內容之效能差異與影響，本計畫同步規劃本地端系統測試作業，並實際安排農航所所內運算資源測試工作。測試方法為對 5 張航攝影像進行參數產製、反投影計算、訓練資料裁切等各項前處理工作後，透過前處理完的 5 張影像所產出的樣本進行簡單的模型訓練，以迭代 5 次(本計畫模型訓練至少需迭代 70 次)作為訓練測試，並透過腳本程式記錄各階段的處理時效，以評估運算資源升級之必要，或做出必要的模型部署規劃。表 4-7 與圖 4-7 為本計畫團隊與農航所的硬體效能測試記錄，圖左為興創、右為農航所，每張圖的橫坐標為耗費時間，縱座標為影像張數，經測試後發現農航所的硬體效能略低於本團隊，但差距並不大，今年度已優先完成森林覆蓋型辨識工具環境部署測試，續期(111 年)計畫亦將嘗試移植模型訓練所需之開發工具，以滿足未來實務運作之需求。

表 4-7 硬體效能測試記錄(5 張影像)

測試對象	興創(計畫廠商)	農航所
建立反投影對應關係	27.33 秒	27.33 秒
反投影標記資料	4.61 秒	4.75 秒
產製模型訓練資料	314.22 秒	416.71 秒
模型訓練	297.82 秒	332.43 秒

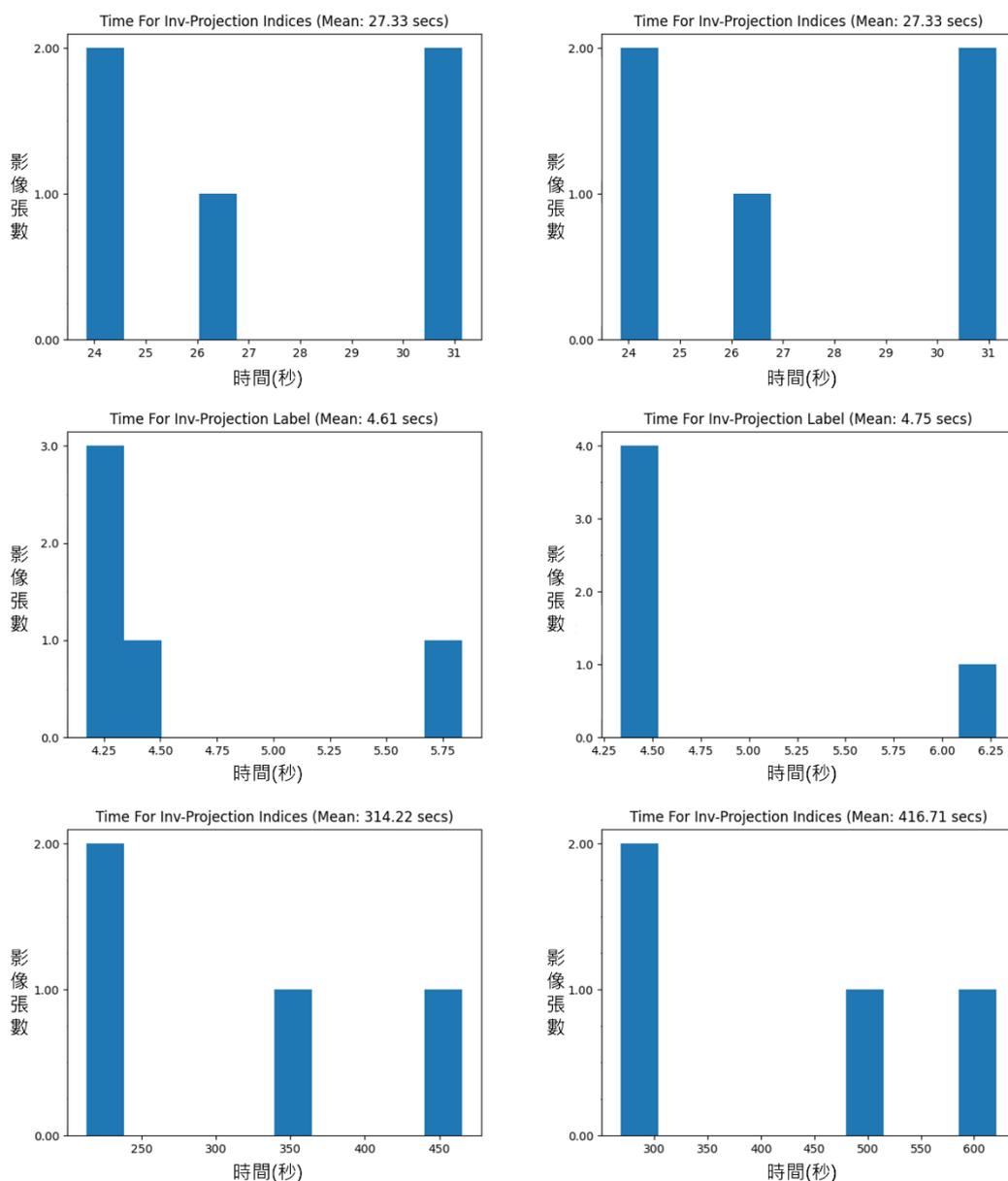


圖 4-7 5 張影像各階段處理時效記錄(左為興創、右為農航所)

第五章、機器學習模型效能提升方案

在 109 年的 DMC 影像判釋模型中，已針對 11 類樹種進行自動化判釋，並獲得 65.3% 的準確率。為了進一步提升判釋準確率，並增加樹種數量進行訓練，將透過效能提升方案的測試工作，來確保訓練模型的可用性。對此，本計畫規劃四個方向進行測試，分別包含「光譜波段組合指標試驗」、「高解析影像優化試驗」、「訓練樣本物候特性試驗」以及「多元影像的樹種判釋測試」。除了實測準確率是否因此提高，亦需考慮實作上自動化流程的可行性，以下就各試驗分節說明。

一、光譜波段組合指標試驗

(一) 光譜組合指標文獻蒐整

近年來，利用航遙測方法評估大面積區域植物物種多樣性之研究，已受到生態學家重視。植物物種之間的光譜異質性，與植物物種的種類、外觀特徵、生理變化等現象有關，因此遙測獲得的光譜數據被認為是一種判釋植物物種多樣性的方法(Rocchini, 2007)，在研究方面顯示出巨大潛力，並大幅降低現場調查成本。

Lin et al.(2015)利用 QuickBird 影像對於台灣南部亞熱帶森林樹種進行分類研究，並建議在分類模型中加入植生指標(Vegetation index)以提升模型訓練性能，如可見耐大氣指標(Visible Atmospherically Resistant Index, VARI)，可以更有效地組織藍色、綠色和紅色光譜，綜合呈現葉片的葉綠素、顏色信息和樹冠覆蓋率的變化；Immitzer et al.(2019)對於歐洲中部的樹種進行分類研究，發現對闊葉樹種的分類來說，光譜波段的短波近紅外光(SWIR)、近紅外光(NIR)和紅邊(Red Edge)波段為重要因子，植生指標以簡單比例指標(Ratio Vegetation Index, RVI)與常態化植生升指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)為主，針葉樹種則以紅色波段(Red)、NIR、

RVI 與 NDVI 為主，並表示分類模型中加入植被指標可以改善分類性能；Bolyn et al.(2018)利用 Sentinel-2 影像與隨機森林方法，對比利時阿登生態區進行 11 種類型森林分類研究，結果顯示 NDVI 雖是遙測重要指標，但在此研究中對分類並無顯著影響，可能是因為 NDVI 與 Red、NIR 具有高度的相關性，且某些樹種中，NDVI 的季節動態差異太小，無法表現樹種間的差異。

此研究顯示指標的使用，在反應樹種的物候特性上，須有明顯的差異性，較適合作為模式使用之指標。NDVI 雖可能無法提供樹種判釋上的實質幫助，但判釋植被仍相當明確，Grigorieva et al.(2020)便提出在進行分類前，可透過 NDVI 將與森林無關的影像部分排除，僅留下植被區域以利後續分類作業。除了 NDVI 外，其他指標也對植物物種分類有一定的幫助。Xu et al.(2020)以無人機所拍攝的多光譜影像進行樹種分類，結果顯示多光譜影像光譜反射率在 720nm 波長時，可以很容易將闊葉樹與針葉樹區分，在 850nm 波長時，則可以將楓樹與所有其他物種區分開，他認為光譜組合指標中的大氣阻抗植被指數(Atmospherically Resistant Vegetation Index, ARVI)、常態化綠色波段(Normalized green band)和紅色波段對於分類最為重要。

實際上，植生指標種類繁多，每一個都具有指示植物狀態的用途。不同的植生指標會因為分類的樹種與使用的模型，產生不一樣的貢獻程度。本計畫透過文獻蒐整與模型實測，最終選定六項植生指標進行試驗，包含前一期已經增加的 NDVI，還有 SAVI、ARVI、ExGI、GCC 與 GLI，其指標原文(含縮寫)、計算方法與文獻出處如表 5-1 所彙整，訓練樣本示意如圖 5-1。而納入六項植生指標於參數中訓練機器學習判釋模型(圖 5-2)則會與光譜波段影像一起進入模型訓練，並計算各植生指標對各項分類目標貢獻度，以完善模型判釋效能與準確度提升之驗證。

表 5-1 本計畫所用光譜組合指標之公式與參考文獻

指標	公式	參考文獻
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$	Tucker (1979)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L1} (1 + L)$	Huete (1988)
Atmospheric Reflection Vegetation Index (ARVI)	$ARVI = \frac{\rho_{nir} - (\rho_{red} \cdot \rho_{blue})}{\rho_{nir} + (\rho_{red} \cdot \rho_{blue})}$	Kaufman and Tanre. (1992)
Excess Green Index (ExGI)	$ExGI = 2 \cdot \rho_{green} - (\rho_{red} + \rho_{blue})$	Larrinaga and Brotons (2019)
Green Chromatic Coordinate (GCC)	$GCC = \frac{\rho_{green}}{\rho_{green} + \rho_{red} + \rho_{blue}}$	Sonnentag et al. (2012)
Green Leaf Index (GLI)	$GLI = \frac{2 \cdot \rho_{green} - \rho_{red} - \rho_{blue}}{2 \cdot \rho_{green} + \rho_{red} + \rho_{blue}}$	Louhaichi et al. (2001)
<p>ρ_{blue} : 藍光波段反射率</p> <p>ρ_{green} : 綠光波段反射率</p> <p>ρ_{red} : 紅光波段反射率</p> <p>ρ_{nir} : 近紅外光波段反射率</p> <p>SAVI 中的 L 是最小化土壤反射影響的修正參數，一般設定為 0.5。</p>		

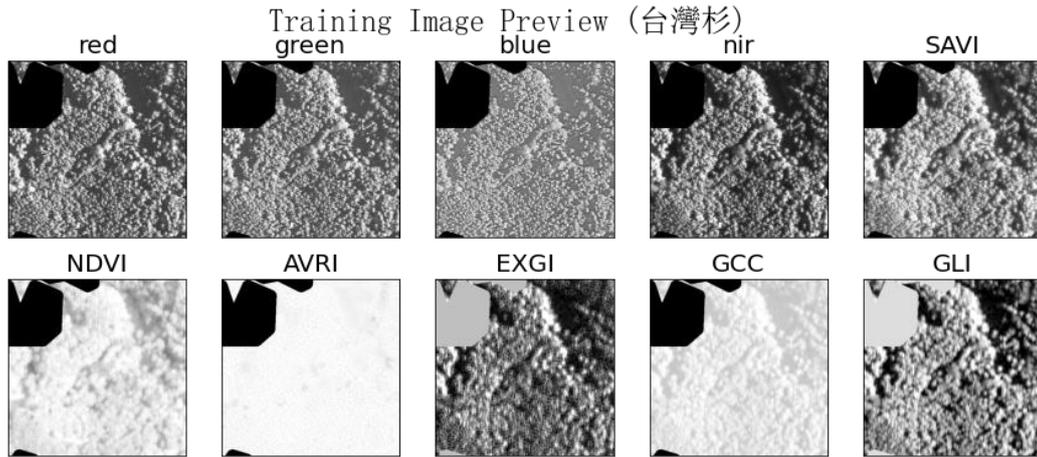


圖 5-1 光譜組合指標訓練樣本案例圖

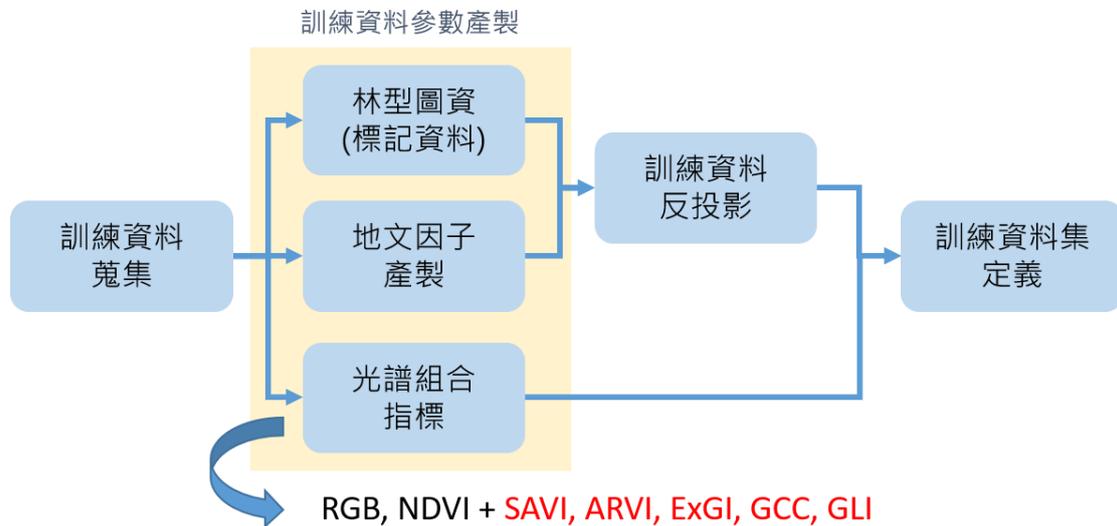


圖 5-2 訓練資料產製流程與光譜組合指標擴充

(二) 光譜分類模型驗證

為了驗證光譜組合指標於本計畫模型訓練之重要性，本計畫從樹種判釋模型分析各指標的貢獻度繪製成熱點地圖(圖 5-3)，說明 6 項植生指標對 19 種樹種訓練之影響能力，其中顏色越深代表影響力越高，或者說貢獻度越高。NDVI 指標可以量化植被冠層的綠度，而綠度表現也因不同樹種呈現不一樣的變異，然而 NDVI 在綠度較高的區域，容易產生飽和的現象，當樹種的樹冠綠度較高時會影響 NDVI 的效能，致使不易區分出樹種。而以 SAVI 透過加入調整土壤

環境反射作用，減低 NDVI 在高綠度時的飽和現象，在本計畫所建立的樹種分類模型中，提供優於 NDVI 的效能，可以作為分類樹種的植生指標之一。AVRI 的表現除了考慮近紅外光與紅光之間的組合，也加入了藍光減低大氣氣溶膠的散射影響，AVRI 對於樹種分類模型的貢獻僅次於 SAVI 與 NDVI，也間接證實了光譜學理特性與人工智慧方法之間重要的相依關係，因此，在最終模型的設計選擇維持新增的光譜指標，來強化樹種判釋之效能。

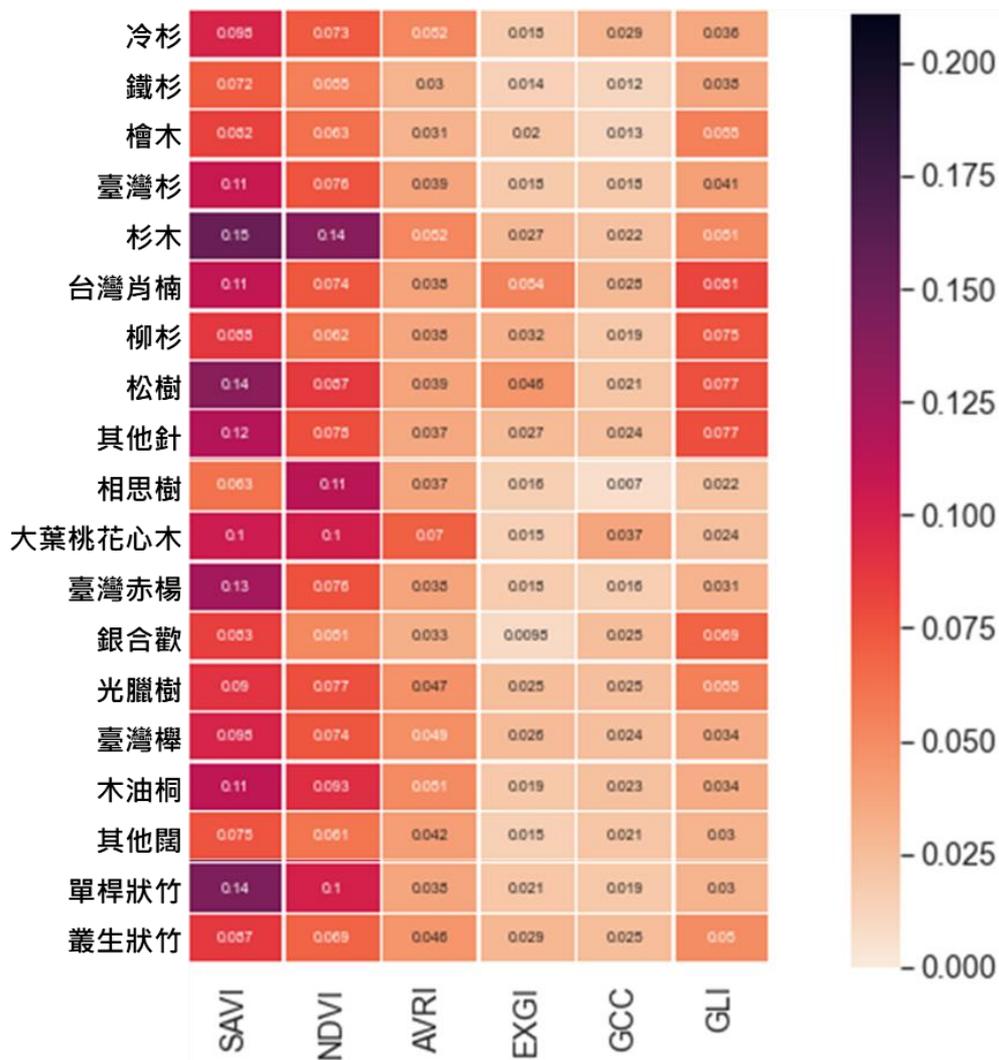


圖 5-3 樹種判釋模型之光譜組合指標特徵熱點地圖

二、高解析影像優化試驗

本計畫使用的 DMC 航攝影像解析度甚高(0.25 公尺空間解析度)，對於細節、紋理等資訊已能有效掌握，然對實務的林型樹種判釋作業而言，納入廣域面積拍攝之影像資訊，應能有效提升樹種群聚下的紋理特徵與分布樣態，並提升判釋結果準確性。對此本計畫將導入電腦視覺常見的多尺度影像處理技術，基於特徵金字塔網絡 (Feature Pyramid Network, FPN) 機制，加入既有的模型進行訓練。

所謂 FPN，是利用卷積神經網路(CNN)模型以特定的像素提取方法，提取航攝影像在不同解析度時的特徵，增加不同空間解析度的影像特徵萃取能力。舉例而言，空間解析度 0.25 公尺的航攝影像，可被降解析度至 0.5 公尺、1 公尺、2 公尺等，降解析度後的每個影像特徵都可能作為模型萃取的目標，應用於判釋結果。實務上，提取不同解析度的影像特徵方法如圖 5-4 所示，主要有以下四種：

(一) Featurized Image Pyramid

一種多尺度網路輸入方法，首先需建立不同解析度的影像，再從中個別萃取特徵並預測結果，此法相當耗時費力，且需要龐大的空間才能儲存不同解析度的影像。

(二) Single Feature Map

一種多尺度特徵融合網路方法，主要應用於傳統的 CNN 萃取特徵，實際上 CNN 模型在萃取特徵時已經會透過池化層(Pooling Layer)粗化影像解析度，以考慮更廣域的影像特徵，但傳統 CNN 在各個中間層得到的特徵值通常只會傳遞給下一個階層使用，而不會獨立作為一項特徵，並且只對最後一層特徵層 (Feature Map) 做預測。

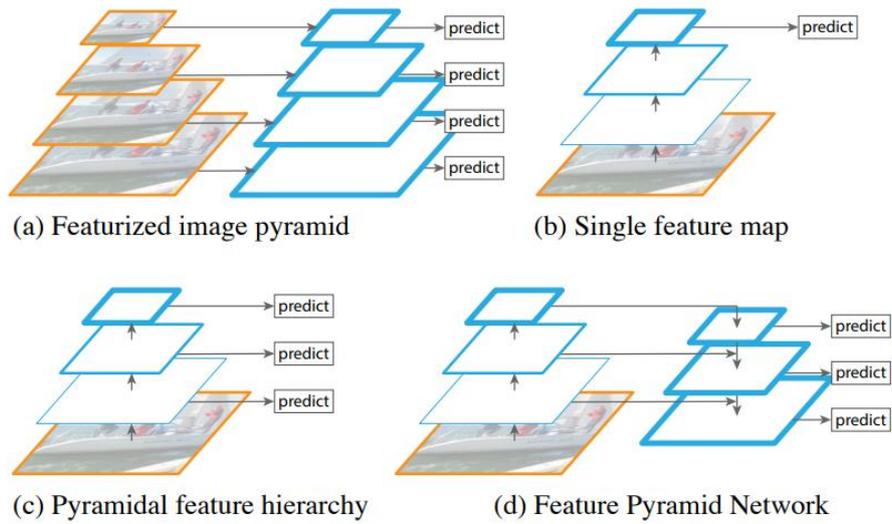
(三) Pyramidal Feature Hierarchy

一種多尺度特徵預測融合方法，意即在不同的特徵尺度下進行預測，最後再將預測結果進行融合。該方法也時常應用於 CNN 模型中，與傳統的影像金字塔相似，卻有更高的計算效率。

(四) Feature Pyramid Network

為了充分利用 CNN 模型一連串產出各階段的特徵層。特徵金字塔網絡(FPN)的誕生即是融合了前面幾種方法建立多尺度特徵與預測融合方法，除了在多尺度特徵上進行預測，特徵萃取的過程中也可將特徵值帶往下一層進行預測。

在圖 5-4 中，藍色的框框代表一個特徵層(Feature Map)，框線的粗細代表著特徵層的級別，越粗代表其特徵含意的層級越高。考慮到模型運算的複雜程度並充分利用 CNN 模型各階層產出，在判釋模型中將嘗試加入多尺度特徵(圖 5-5)，並以 Lin et al.(2017)論文中表現最優的 FPN 作應用，以提升廣域特徵的提取效率；然而，經測試後發現，加入 FPN 並無法有效提升模型判釋精度，如圖 5-6 所示，橫軸表示 epoch 模型迭代訓練的次數，縱軸表示模型準確率(accuracy)，四條折線分別代表模型精度測試的結果，分別包含使用 FPN 的樹種分類訓練精度(accuracy_ipcc3_FPN)、使用 FPN 的樹種分類驗證精度(accuracy_ipcc3_valid_FPN)、使用原 CNN 的樹種分類訓練精度(accuracy_ipcc3_CNN)，以及使用原 CNN 的樹種分類驗證精度(accuracy_ipcc3_valid_CNN)。因此，加入 FPN 的模型訓練過程需要更長的時間來提高精度，相對的整體精度卻沒有因此明顯優於原模型，考量到模型運算所需的時間與效能，故本計畫判釋模型未額外納入 FPN 的架構。



(Lin et al., 2017)

圖 5-4 多尺度特徵萃取方法比較

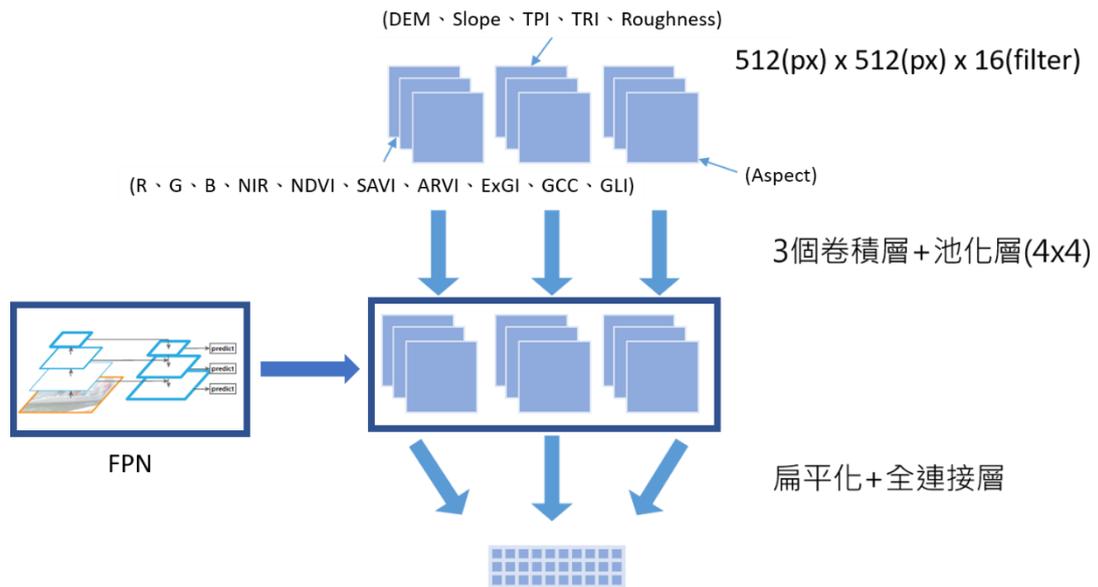


圖 5-5 卷積神經網路(CNN)影像判釋模型中加入 FPN

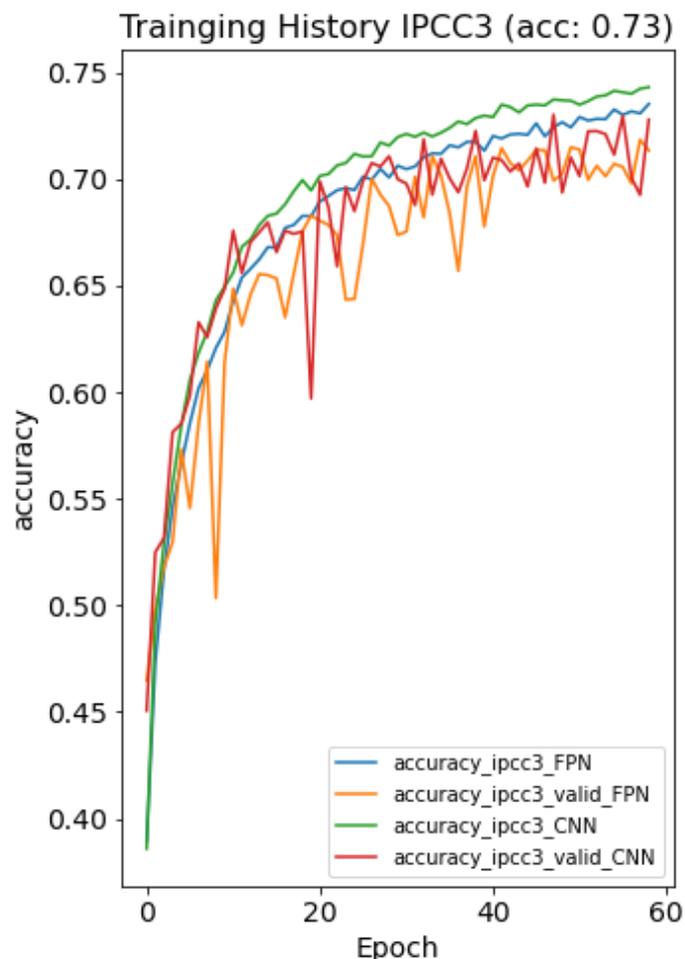


圖 5-6 判釋模型加入 FPN 之比較

三、訓練樣本物候特性試驗

(一) 物候特性文獻蒐整

植物物候表徵是植物對氣候變化的綜合反應，同時也是植物適應氣候變化的過程。從本質上來說，物候記錄是植物一年中發生的生長和繁殖時間歷程，結合觀測日期和位置信息，提供有關植物物候的重要資訊。植物於生長期間所發生的物候事件(phenological event) (包括萌芽、展葉、葉變色、落葉、開花、結實等)是時間週期的自然現象，常被航測人員作為判是樹種的參考依據。運用遙測技術繪製植物群落分布與棲地現況地圖，可以涵蓋廣闊的區域範圍，提供詳細、客觀和精確的資訊，對於評估生物多樣性具高度的潛力 (Nagendra, 2001 ; Kuenzer et al., 2014 ; Lin et al., 2015 ; Grabska et al.,

2019)。遙測與現地調查方法相比，遙測技術為生態研究提供了一種成本低、有效率且可行的方法，亦可以探測人跡罕至的地區，已被許多研究者廣泛應用於森林生態領域的研究。運用遙感技術可掌握植物物候的空間資訊，像是 MODIS、Landsat 與 Sentinel-2 資料具有高時間解析度與光譜組合指標，空間解析度約 250 m 至 10 m，受到空間解析度的限制，目前大多數研究集中在大範圍的植被活力(像素中的綠度變化和衰老過程)時空動態變化趨勢(Wang et al., 2016；Karkauskaite et al., 2017；Klosterman and Richardson, 2017)。遙測影像中，所提供的多光譜影像資料，一直是進行森林物種分類研究中最常用的數據資料，早期的研究主要以 Landsat 影像為主(Mickelson et al., 1998)。光譜的訊號特別對於針葉樹與闊葉樹，可以提供快速的分類，由於針葉樹一般具有常綠樹冠，在秋季沒有明顯的物候變化，而闊葉樹則冠層葉部的變化，光譜呈現較豐富的季節變異性，秋季葉片衰老過程與葉片顏色的變化明顯(Grabska et al., 2019)。

近年來，Sentinel-2 衛星提供每 5 天重訪的高時間解析度，以及影像擁有更多波段與更高解空間析度，對於樹種分類更好的效果(Grabska et al., 2019)。在使用遙測的物候學研究中，需要多期的影像以捕捉物候變化，例如萌芽與落葉(Pfeifer et al., 2012)。森林樹木物候的研究，都關注在冠層葉部構造的季節性變化，包括葉芽、葉片開展、秋季的顏色和落葉的特徵(Klosterman and Richardson, 2017)。Sheeren et al.(2016)利用多時期 Formosat-2 衛星影像的研究溫帶森林樹種的結果顯示，表示衛星影像時間序列資料所包含的物候信息，像是桉樹的物候特性為常綠樹種，橡樹在秋季轉變為紅色的葉子，對區分各種闊葉樹和針葉樹種具有相當的重要性。Persson et al.,(2018)使用 Sentinel-2 影像對樹木進行分類的研究，表示對於樹木的物候表現會需要多期的時間序列，例如包含春季與秋季影像。Grabska et al.(2019)對波蘭喀爾巴阡山脈混淆林的樹種分類研究結果表示，使用 Sentinel-2 的時間序列影像資料，相對比單一日期的影像，可以顯著改善樹種分類整體精度的 5-10%，特別是將春季和秋

季的圖像相結合，對於樹種的分類有更好效果。Immitzer et al.(2019)同樣利用 Sentinel-2 的影像資料，對中歐森林樹種進行分類研究，結果顯示的最重要的光譜波段，要將個別的針葉樹種分開，發現紅光波段(Red)的重要性最高，闊葉樹的部分則是短波紅外光波段(SWIR)波段，若加入使用植生指標，亦可以進一步改善分類模型的性能。衛星影像中所包含多光譜資料，以及進一步計算的植生指標，與運用多時期影像一起應用對於樹種分類具有良好潛力。

依循上述的論文研究可見，物候研究調查，確實有助於樹種判釋的特徵需求，然而礙於高頻時序影像的取得並不容易，多數研究係應用衛星遙測技術進行輔助，卻也面臨免費影像解析度不足，付費高解析影像卻卡在單價太高等問題。考量到樹種判釋的精度要求，以及實務工作的應用搭配，衛星遙測影像在現階段的判釋作業難有顯著的幫助。

因此，本計畫除了藉由擴大影像篩選與加強時序影像的檢索，試圖在模型訓練過程增加具備時序關係之 DMC 航攝影像。更在模型評價過程，將測試資料集依乾濕季分群檢驗，藉此了解本計畫樹種判釋模型對於乾濕季敏感度與辨識能力的差異，提供未來模型應用之參考建議。

(二) 物候分類模型驗證

為了補足前期(109 年)影像時空分布極度不均的情形，本期新增了許多原本時間段不足的影像，並在與農航所及本團隊專業顧問討論後，依照臺灣地區的降雨趨勢，將臺灣依照縣市區分為 4 個區域(圖 5-7)，將北部與東部歸類為全年濕季，中部與南部 5-9 月濕季、10 月至隔年 4 月乾季，以此標準把 7,888 筆測試資料分成乾濕季兩類分別判釋，得到乾季 5,822 筆(73.8%)、濕季 2,066 筆(26.2%)的比例與表 5-2 的乾濕季分類統計結果。

自分析結果發現，模型訓練使用的影像雖然乾濕季資料並不平均，但模型評價結果，並沒有顯著差異。換言之對於四季常綠的台

灣而言，乾濕季變化差異並不容易從影像上辨別出來，未來在運用模型辨識結果時，也不會因為影像拍攝季節的差異有太大的不準確性變化。另外也可能因為 DMC 航攝影像乾濕季連續性不佳，以至於模型並不存在完整的季節變化特徵。

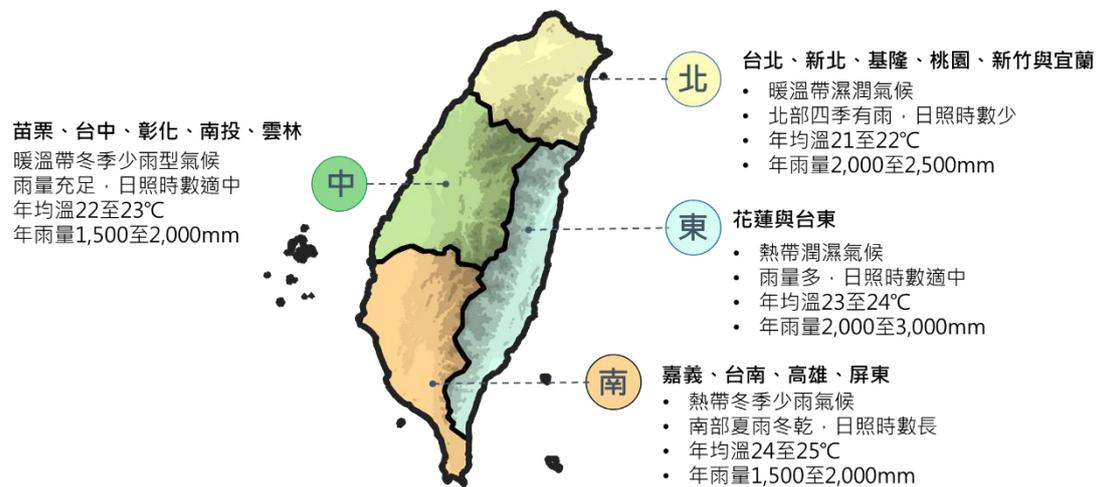


圖 5-7 依降雨趨勢區分各縣市

表 5-2 乾濕季分類統計結果

	乾季	濕季	全部
IPCC2 精度	88.04%	87.73%	88%
IPCC3 精度	72.14%	73.13%	73%

四、多元影像判釋模型擴展性試驗

為了進一步了解本計畫訓練之樹種判釋模型，對於非 DMC 航攝影像的辨識能力，藉此評估模型未來應用的擴展性。因此選擇較容易使用的正射影像來進行間接性的試驗性評估，將正射影像直接輸入既定的判釋模型，產出林型與樹種的判釋成果。在此試驗中，挑選 2 張有近紅外光波段的正射影像(圖 5-8)以林型圖資篩選出純林的部分後以 512×512 像素為單元進行裁切，得到共 5,179 個樣本進行判釋，結果如圖 5-9 至圖 5-10 所示，藍色為該分類的所有樣本數，橘

色為該分類所有樣本中判釋正確的數量，綠色為誤判的數量。在此試驗中，林型的模型準確率有 57.7%，樹種的準確率則是 25%，整體來說效果並不理想，但若再細分會發現，圖 5-9 中的錯誤主要來自於將竹林誤判為闊葉林；而細分樹種時(圖 5-10)可發現，模型將單桿狀竹都分類到其他闊和相思樹，與林型有相似的結果。推測可能是在正射影像中，竹林和闊葉林的紋理較為相似不易辨認所致。從此測試可發現，本計畫所訓練的模型雖是基於航攝影像所訓練，但對於正射影像仍有辨識的可能性，只是辨識效果不太穩定，若未來需要擴充此模型，需增加樣本，提升此模型對不同影像的兼容性。

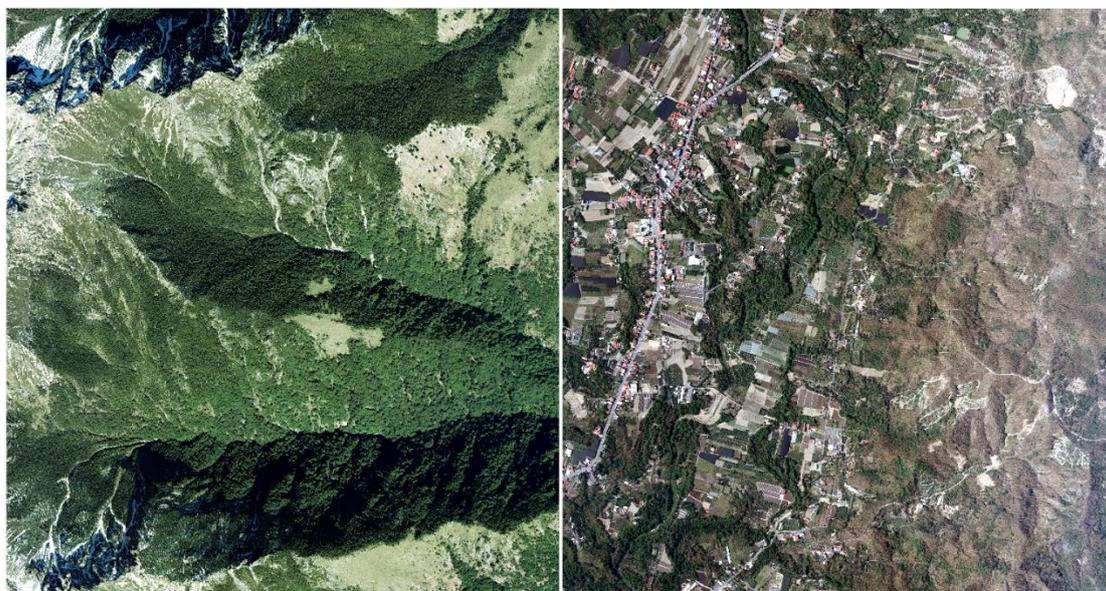


圖 5-8 選取 2 幅正射影像進行裁切

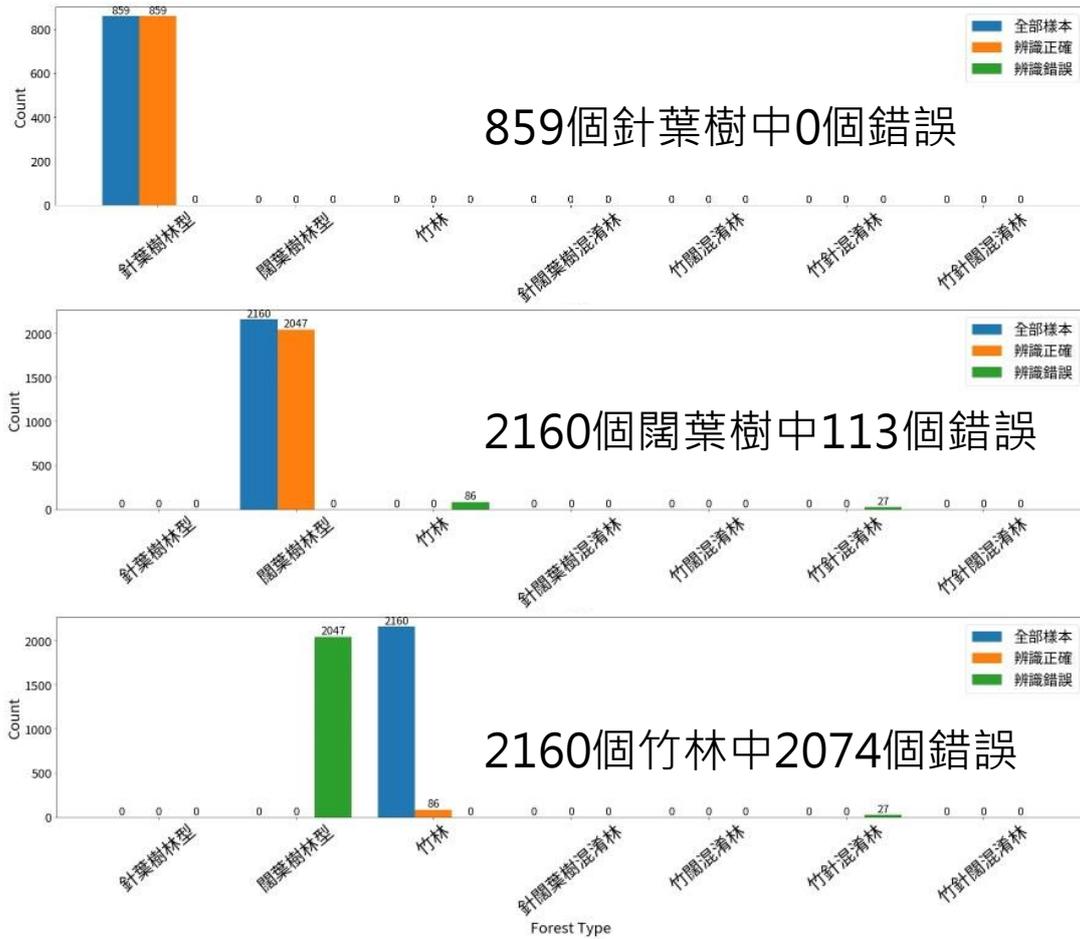


圖 5-9 5,179 個正射影像裁切後之樣本的林型分類結果

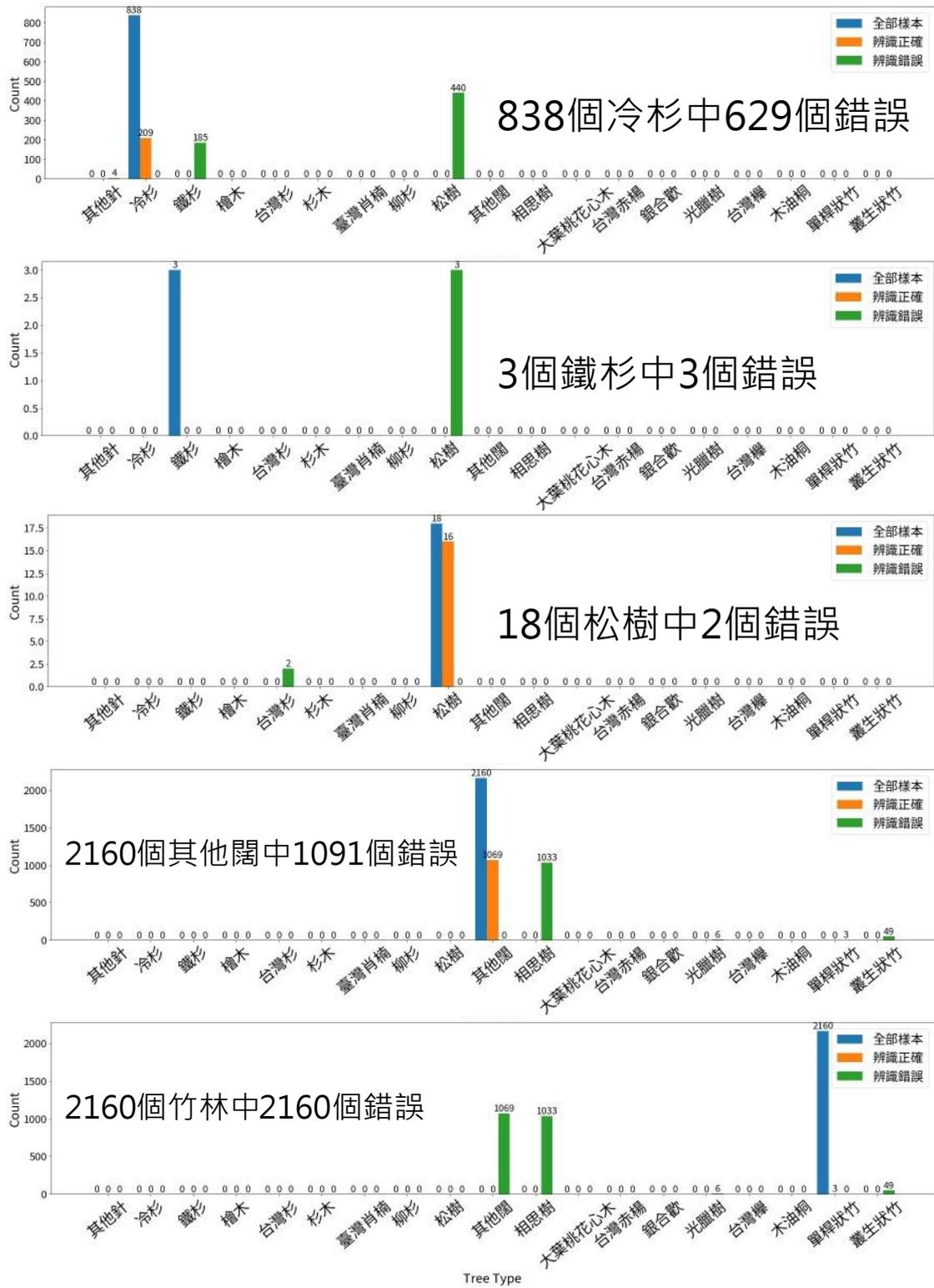


圖 5-10 5,179 個正射影像裁切後之樣本的樹種分類結果

第陸章、森林物件萃取自動化流程建置

為了實現森林物件萃取自動化作業，輔助實際的圖資編修工作，前期(109年)計畫先行測試了純林分類的可行性，在本期(110年)計畫中，除了測試了幾個提升模型判釋效能的議題外，更需考慮實際的應用情境，嘗試為混淆林型分類找到具體可行的做法。因此本章節自混淆林型分類邏輯進行說明，並基於前期計畫產製的純林分類模型，擴充為涵蓋了林型與樹種分類架構的森林覆蓋型之辨識，達成混淆林型分類之需求。更進一步在森林資源調查人工編修作業輔助工作中，具體規劃了機器學習方法輔助架構與工具角色，並即早針對森林覆蓋型辨識工具進行雛形開發與實機測試，以期在續期(111年)計畫中獲得足夠的操作回饋與修改方向。

一、混淆林型分類模型擴充試驗

本計畫透過混淆林型分類模型擴充試驗釐清，現行的混淆林界定原則、實際的臺灣林地現況與森林調查作業流程。自森林覆蓋型模型訓練成果，了解 IPCC2 與 IPCC3 各自的模型判釋能力，在維持訓練模型類別不調動的大原則下，透過 IPCC3 的純林分類結果，以及 IPCC2 單純林型的分類比例進行歸納，藉此達到混淆林型分類之需求。

(一) 混淆林界定原則

將林型區分為單純林與混淆林，主要是由於管理與經營的需求，林分的樹種混合程度，可以由林分樹種組成及結構特徵作為分類依據(Bravo-Oviedo et al., 2014)。在所有混淆林定義中，樹種組成是最常用於描述樹種混生的程度，因為可以透過估算株數或面積，解釋並適用分類林分的種類。簡單的混淆林，必須至少有兩種樹種，且定義樹種組成所佔的比例閾值，其主要樹種與次要樹種的組成比例，世界各國不盡相同。依據森林資源調查暨國有林事業區檢

訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業手冊之定義，在臺灣的林型分類中，若單一類別佔全林冠面積 80%以上者，則視為單純林；兩種類別分別佔全面積 20%至 80%者，則為混淆林(表 6-1)。然在實務操作上，樹種所佔面積是由判釋人員主觀判定，不同人員判斷標準可能會有落差，因此在實務操作上，超過 70%都能歸類於單純林。

表 6-1 林型分類之定義

林型	針葉樹	闊葉樹	竹類
針葉樹林型	80% ↑	20% ↓	20% ↓
闊葉樹林型	20% ↓	80% ↑	20% ↓
針闊葉樹混淆林	20%-80%	20%-80%	20% ↓
竹林	20% ↓	20% ↓	80% ↑
竹闊混淆林	20% ↓	20%-80%	20-80%
竹針混淆林	20%-80%	20% ↓	20-80%

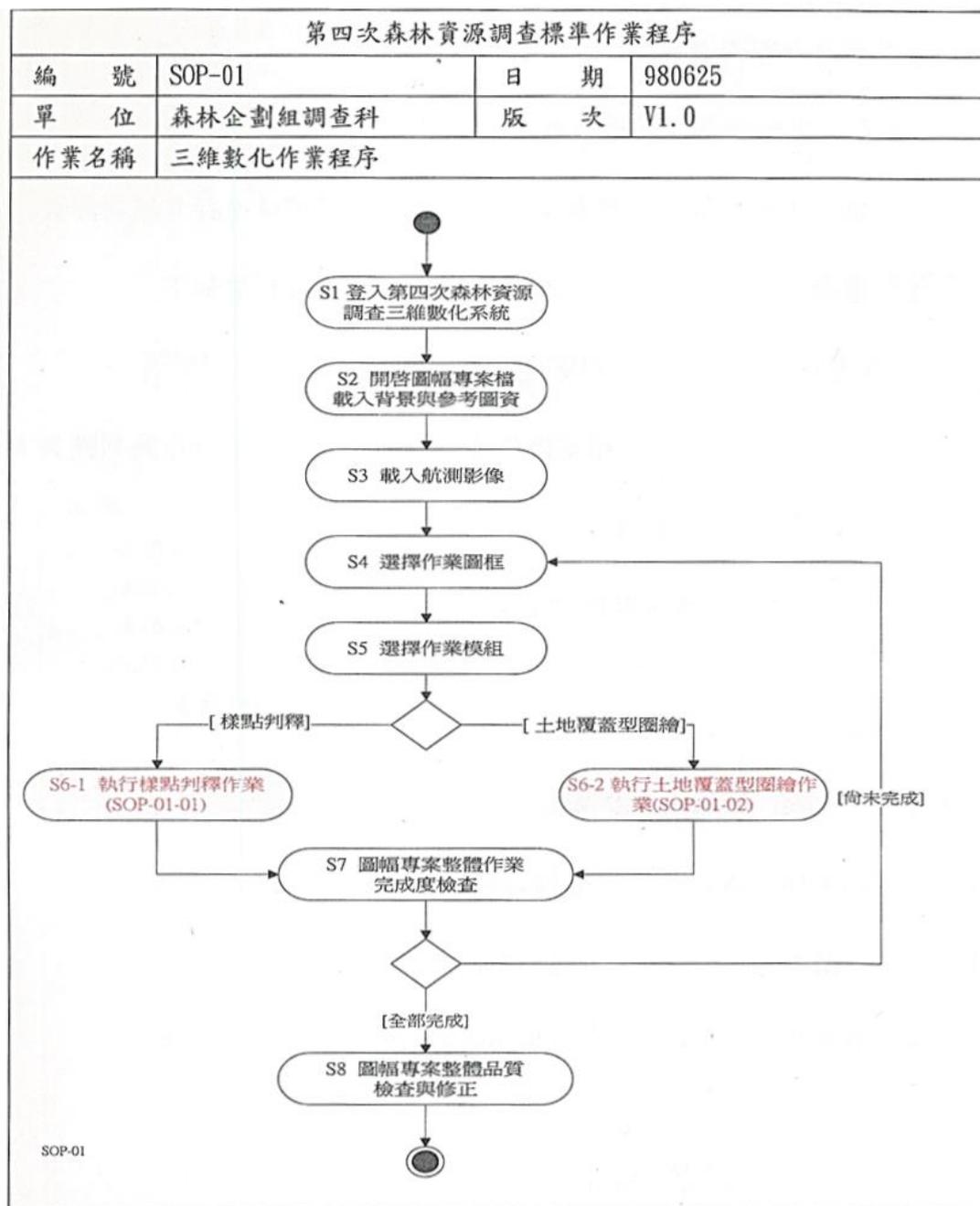
(二) 臺灣混淆林狀況

一般而言，混淆林較能充分利用生育地，惟伐採與管理上較為不便，可於大面積林地營造小型群狀純林之組合，以收單純林與混淆林之優點。一般天然林常見混淆林，若該生育地僅適合某一種樹種，或由於競爭作用排斥其他樹種，才會形成單純林。非耐陰樹種除在林分發育初期階段，因林地環境不佳，適生樹種少，才有機會形成純林，而後因環境變化而適宜較耐陰樹種進入與生長，或因競爭、老化或外在環境因素的干擾而產生孔隙後，容易由耐陰樹種取而代之，進而形成混淆林。過去傳統林業時代所建造的人工林，因經濟收益及木材生產之觀點，多為單純林，近年來生態觀念導入造林，造林規劃採用多種樹種而形成混淆林。本計畫的模型所判釋的混淆林，指的是 IPCC 第二層分類中的針葉樹、闊葉樹、竹林、針闊混、竹闊混、竹針混與竹針闊混淆林。

(三) 現行森林調查作業流程

回歸實際的作業調查流程，森林資源調查資料量極為龐大，林型圖資容納上百萬筆的資料整合清查難度極高。因此，在 104 年完成第四次全國森林資源調查後，林務局即規劃建立長期森林資源監測體系，每五年發布一次全國暨各林區森林資源狀況報告，以五千分之一圖幅為基本單元進行圖資數化更新作業，專業人員使用 ArcGIS 軟體搭配 SAFA 程式與 PLANAR SD2020 立體觀測數化儀，建構三維航攝立體判釋及數化系統。實際上在進行檢訂作業流程時，並不常對既有的林型圖框進行挪移編修，僅切割圖徵與更新屬性，本計畫以此為原則，設計更新模式。

圖 6-1 為森林資源調查之數化作業程序，由於此程序為初次數化圖資，故包含圈繪與屬性填入。在之後的檢訂調查數化程序中，登入數化系統後，開啟圖幅專案載入航攝影像與相關圖資，檢查在新的航攝影像中，每個圖徵屬性是否有變化，若發生變化則更新其屬性，或是將圖徵分割並更新；若無變化則不動。作業完成後再進行二次檢查，確保資料無誤後上傳至系統，完成更新作業，圖 6-2 即為作業人員操作系統時的實際畫面。



(行政院農委會林務局，民 105)

圖 6-1 既有森林資源調查數化標準作業流程

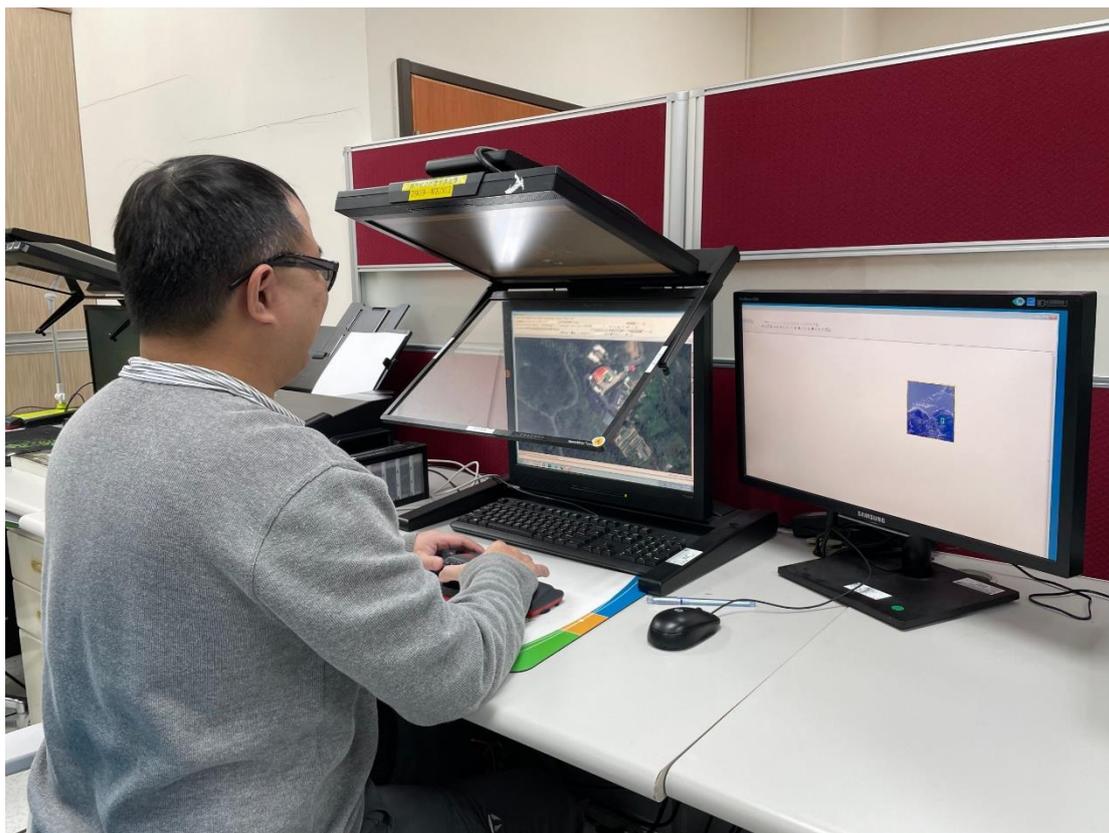


圖 6-2 作業人員實際操作畫面

(四) 森林覆蓋型模型訓練成果

為能確實輔助現行森林調查作業流程，在不過度變更作業人員編修操作流程的原則下，本計畫基於原始的航攝影像，產出判釋結果圖層，可於 ArcGIS 等軟體透過疊圖作為作業人員林型、樹種判釋之參考。考慮到 IPCC 林型分類統計的結果(表 3-3)中，針葉樹林型 295,802 公頃，森林面積佔比 14.60%；闊葉樹林型 1,348,106 公頃，森林面積佔比 66.52%；竹林 97,884 公頃，面積佔比 4.83%，單純的林型總佔比高達 86%。相對於交錯複雜的混淆林種植現況，可能大幅度影響模型的鑑別能力，因此實作上維持前一期計畫的方法，同樣以單純林判釋為原則，透過精確的樹種判釋與林型判釋，在排除航攝影像上的單純林位置後，混淆林就能快速地被識別出來，此一邏輯設計也更加符合作業人員人眼判釋的判定原則，確實加速圖資編修的效率。

因此，延續前一期計畫的樹種判釋成果，將原先的 11 種純林擴充至 19 種，接著使用相同的架構，對 3 種單一林型(針葉樹林型、闊葉樹林型、竹林)進行訓練，圖 6-3 分別呈現了兩種模型訓練的精度測試歷程，橫軸表示模型迭代訓練的次數(epoch)，縱軸表示模型準確率(accuracy)，四條折線分別代表模型精度測試的結果，分別包含樹種判釋訓練精度、樹種判釋驗證精度、林型判釋訓練精度與林型判釋驗證精度，其中林型和樹種的驗證精度可作為模型精度，分別為 92%與 73%。整體而言，林型判釋模型的分類精度比樹種判釋模型的分類精度要高，原因可能是單一林型底下包含了許多樹種，若觀察樹種模型的錯誤分類統計可更進一步察覺，雖然樹種分類錯誤，但仍屬同一種林型，在林型的分類上並無太大影響，因此能有較精準的判釋成果。以下將說明模型擴充後的判釋結果，包含 19 種的純林判釋與 3 種的單一林型判釋之成效。

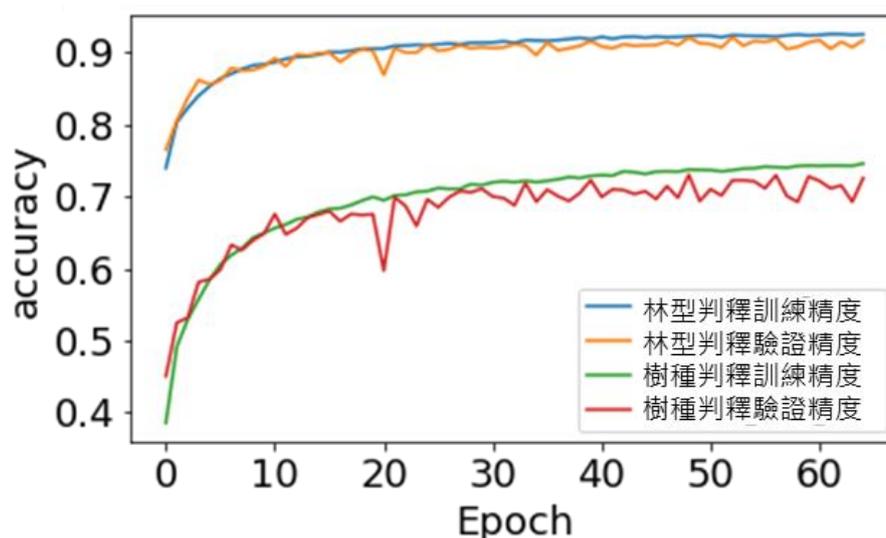


圖 6-3 樹種判釋與林型判釋模型訓練歷程比較

1. 樹種判釋模型

本計畫延續既有樹種判釋模型的架構並對其優化，包含前述已說明的訂正反投影計算錯誤、訓練樣本增加、標記資料增加等作業步驟，同時新增分類目標共計 19 種純林，包含屬針葉林型的 9 種純

林如冷杉、鐵杉、檜木(紅檜、扁柏)、台灣杉、杉木(巒大杉、杉木等)、臺灣肖楠、柳杉、松樹(二葉松、五葉松等)與其他針；屬闊葉林型的 8 種純林如相思樹、大葉桃花心木、臺灣赤楊、銀合歡、光臘樹、臺灣欒、木油桐與其他闊，以及屬竹林的 2 種純林如叢生狀竹與單桿狀竹，圖 6-4 為將測試資料輸入模型得到的各樹種分類結果，一般來說會取訓練資料的三分之一作為測試資料，故每個類別最多取 666 個樣本(訓練樣本每類 2,000 筆)，藍色為每類的測試樣本總數，橘色為測試樣本中判釋正確的數量，綠色為測試樣本中判釋錯誤的數量。理論上樣本數量多(藍色多)，則應該判釋正確高(橘色多)，以樣本數量較充足(Count>500)的樹種觀察，顯示檜木與其他闊表現明顯較差，誤判率較高。而在圖 6-5 中，詳實列出所有樹種誤判次數與錯判樹種，可發現鐵杉、松樹、柳杉等樹種樣態相似性高，模型容易搞錯，而其他闊則是因其本質就是不易分類判釋的闊葉樹種，故錯誤率也相對較高。

若改以熱點地圖進行 16 項特徵因子的貢獻度分析(圖 6-6)，顏色越深代表影響力越高，或者說貢獻度越高。從圖中可發現，波段對於預測樹種的所提供貢獻，在近紅外光的效果最佳，其次為綠光、紅光與藍光波段。針葉樹的葉部特徵與樹冠受陽光照射區域相對於闊葉樹較小，而呈現較低的反射率，使近紅外光波段在區分針闊葉樹上有顯著的效果，且觀察可見近紅外光(NIR)對於樹種判釋影響最為顯著，各項樹種計算結果均超過 0.1；相較之下，TRI 的影響力較差，平均不到 0.005。整體而言，有超過一半的特徵因子有顯著的反應，不同樹種也有不同的反應特徵，這無疑證實了除了可見光波段特性、植栽地文特性、光譜學理特性，均與人工智慧演算方法之間存在至關重要的相依關係。使用誤差矩陣來呈現訓練成果，如表 3-6 所示，其整體精度達 73%，而 kappa 值則達到 0.7。

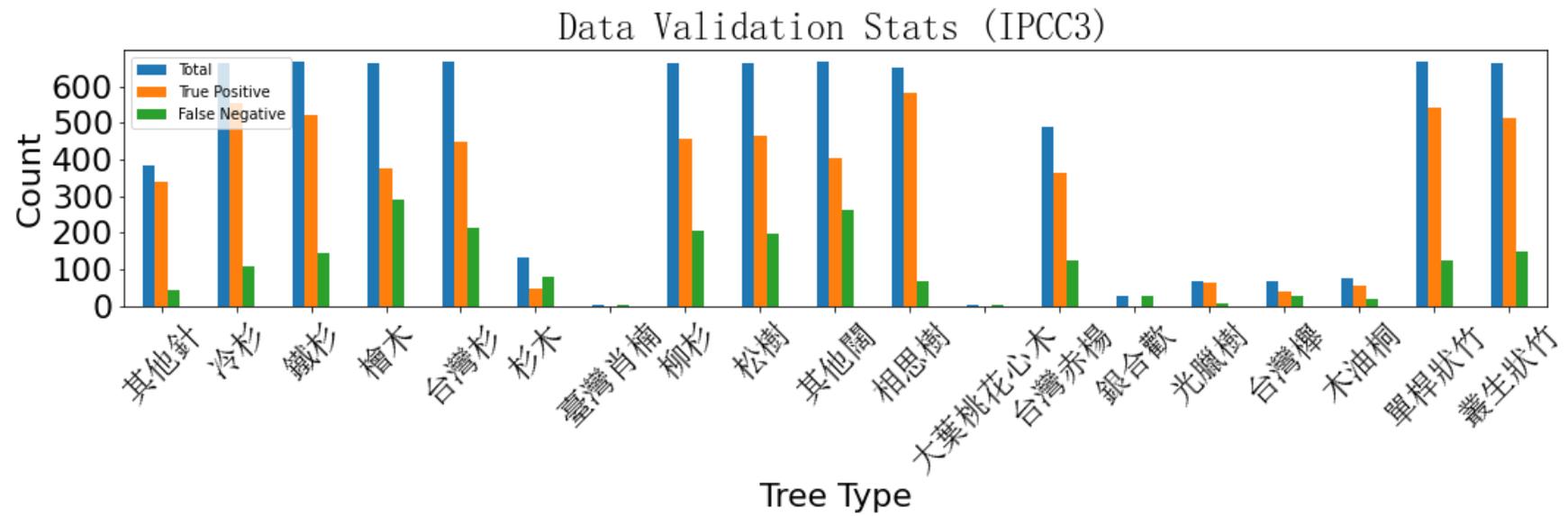


圖 6-4 樹種判釋模型驗證資料分類成果

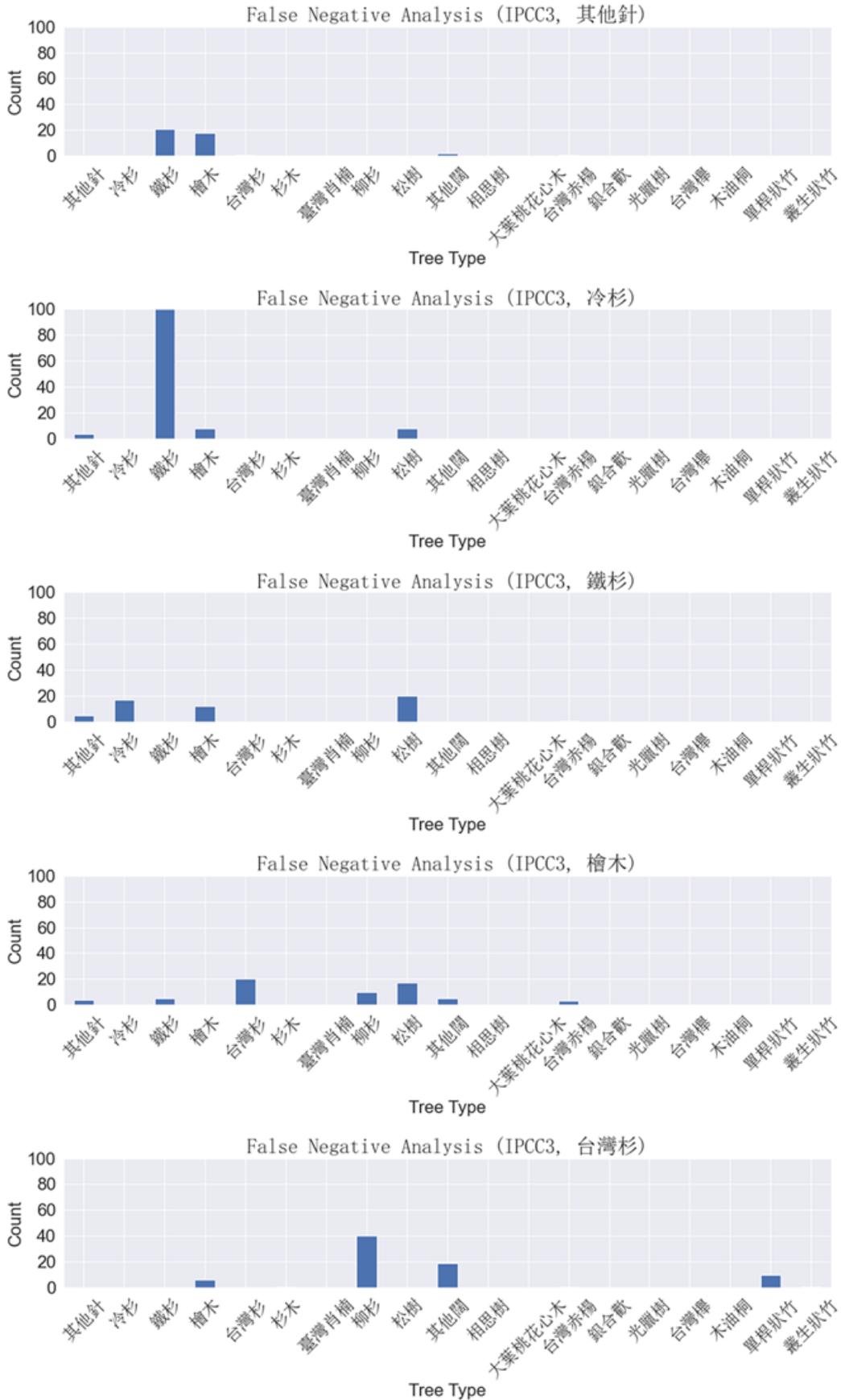


圖 6-5 各樹種判釋錯誤資料統計 (1/4)

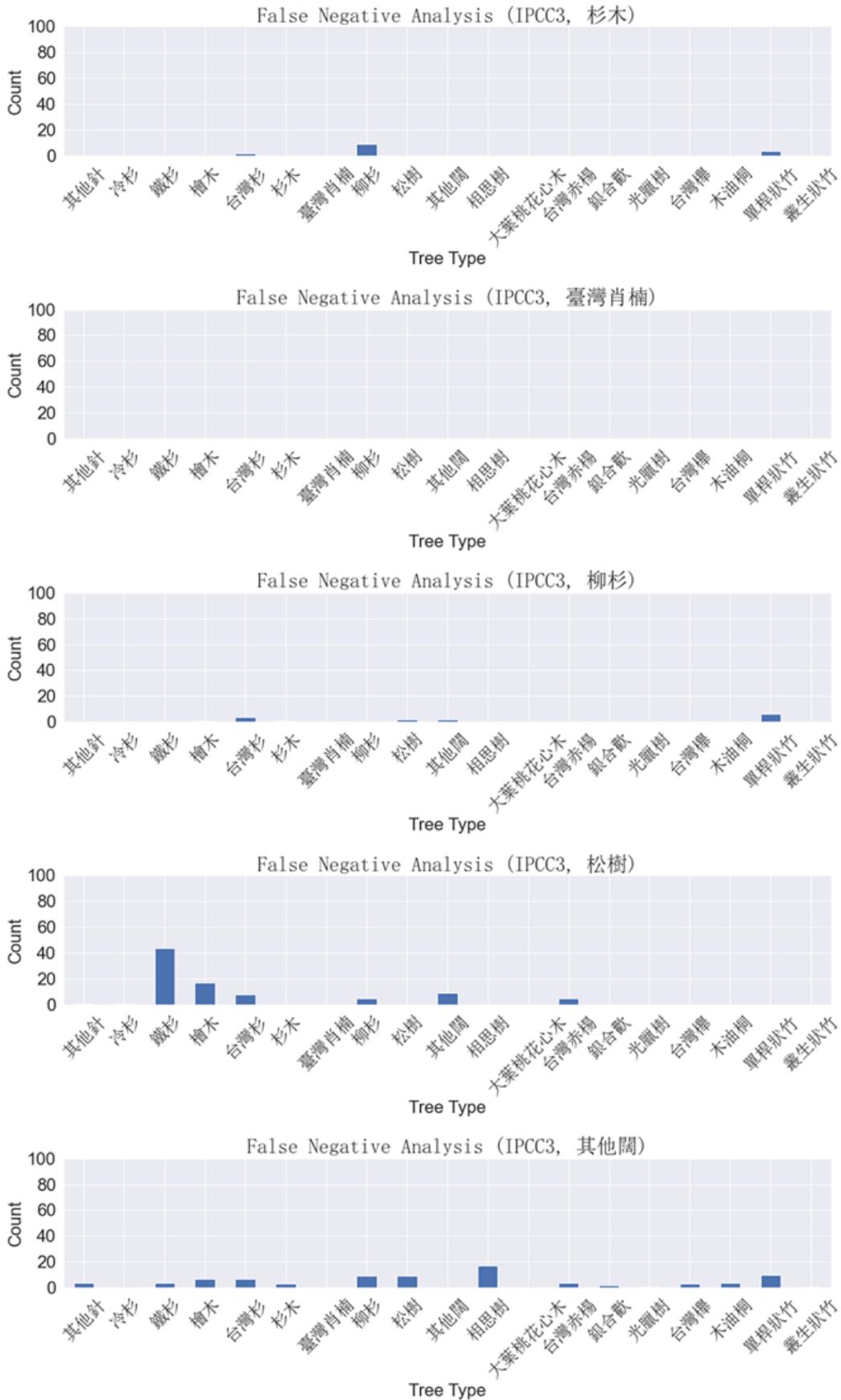


圖 6-5 各樹種判釋錯誤資料統計 (2/4)

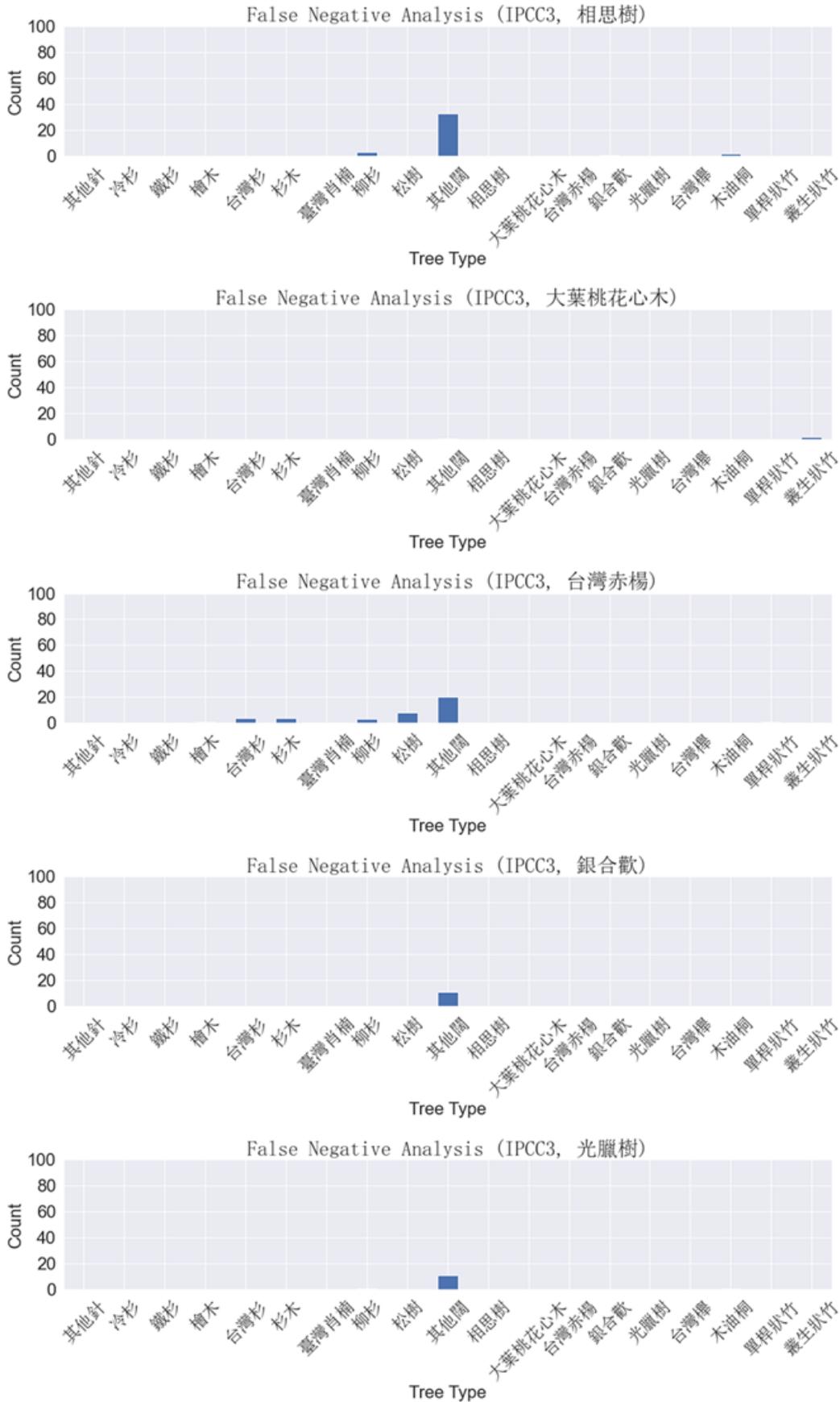


圖 6-5 各樹種判釋錯誤資料統計 (3/4)

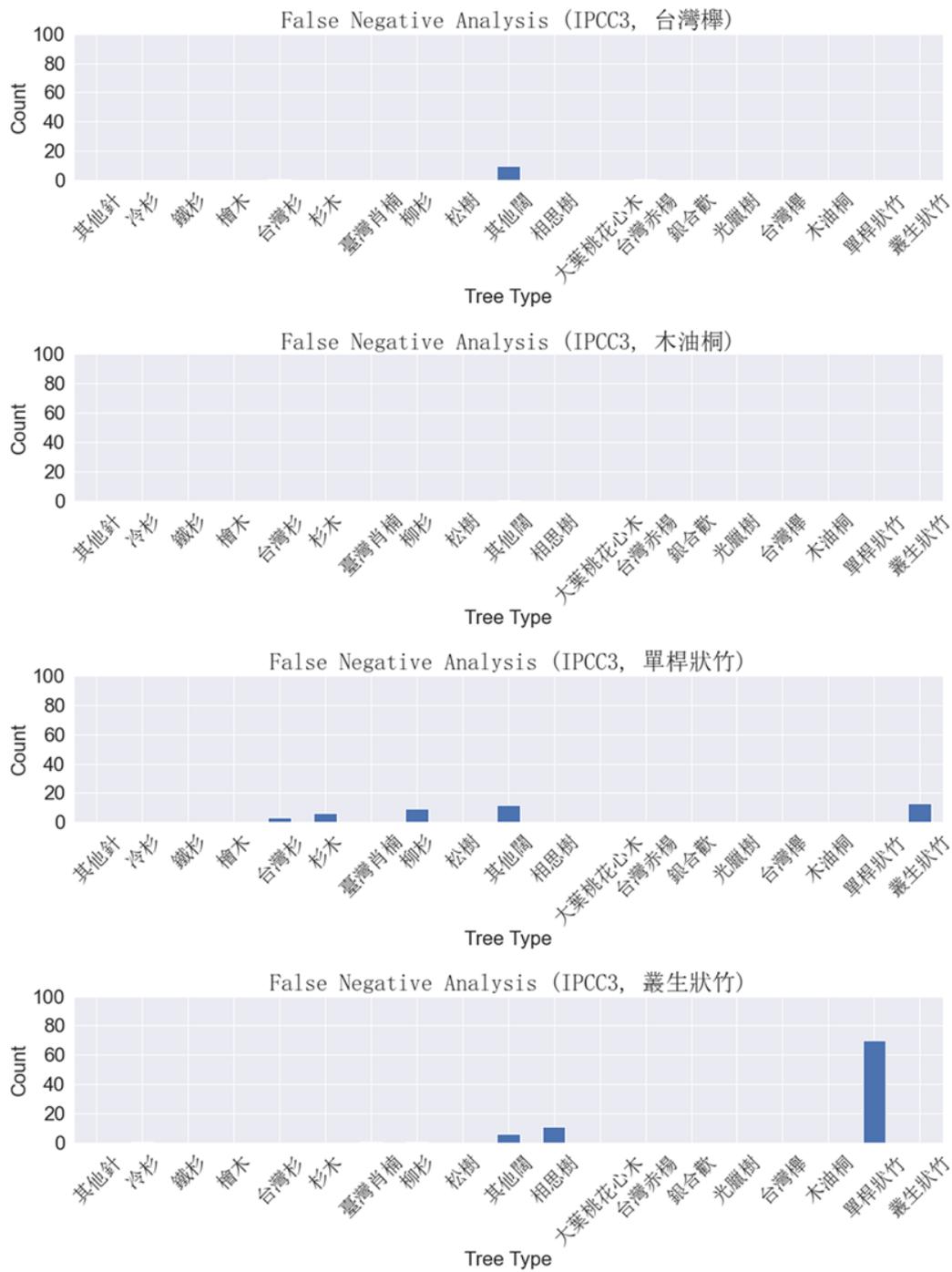


圖 6-5 各樹種判釋錯誤資料統計 (4/4)

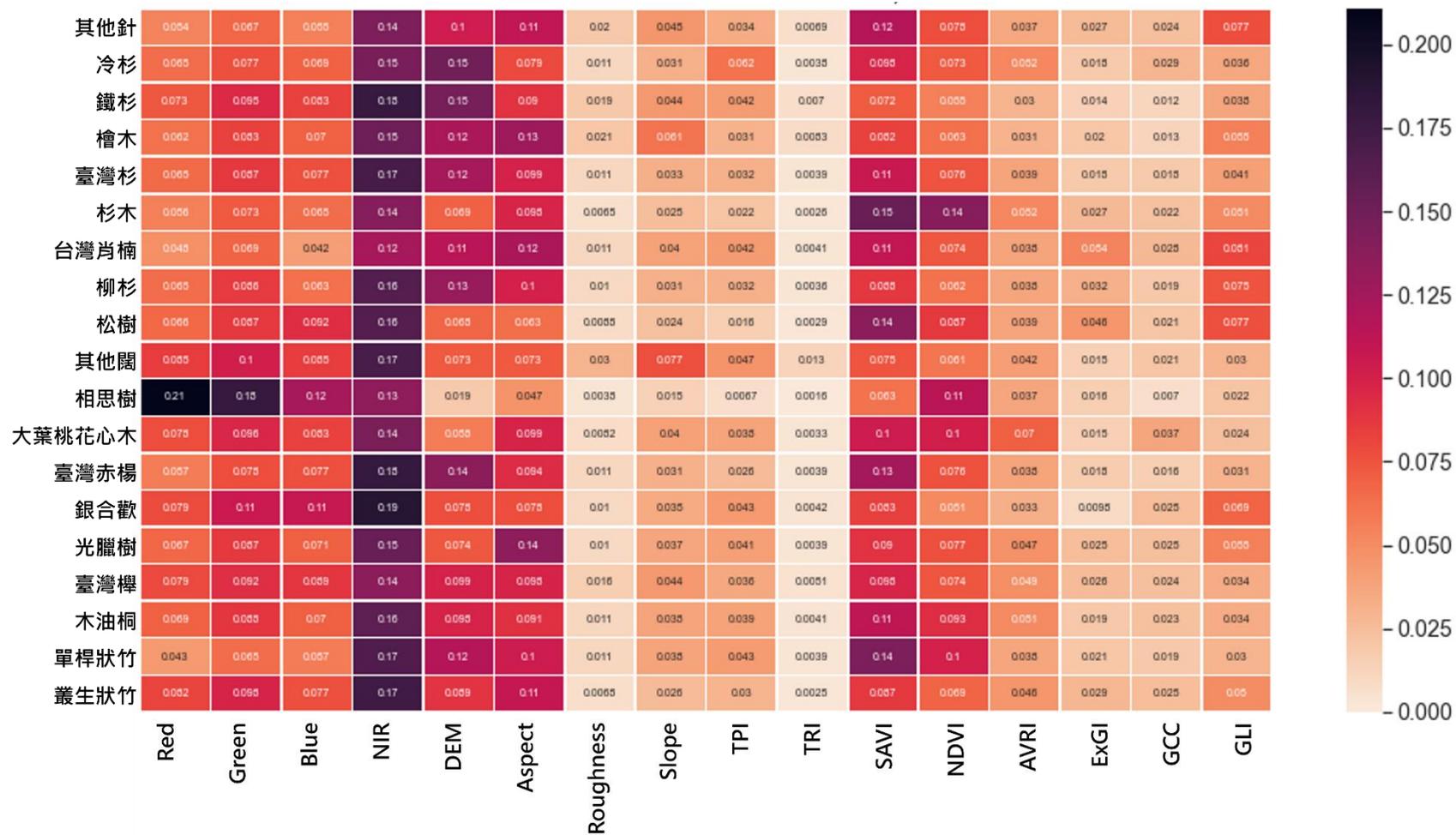


圖 6-6 樹種判釋模型之各輸入參數特徵熱點地圖

2. 林型判釋模型

除了樹種判釋模型外，本計畫也基於相同的模型架構，建構了單一林型的判釋模型，其分類目標以竹林、針葉林、闊葉林三種單一林型為主。圖 6-7 統計了同樣 7,888 筆樣本的林型的分類結果，藍色為該林型的全部樣本數量，橘色為判釋正確的數量，綠色為判釋錯誤的數量，因整體樣本數量較為充足，故都有不錯的表現。若同樣改以熱點地圖進行 16 項特徵因子的貢獻度分析(圖 6-8)，顏色越深代表影像力越高，或者說貢獻度越高。情況與樹種判釋模型相似，近紅外光(NIR)對於林型判釋影響最為顯著，各項樹種計算結果甚至更高超過 0.13；相較之下，TRI 的影響力依然較差，平均不到 0.005。若使用誤差矩陣來呈現訓練成果，如表 6-2 所示，其整體精確度高達 88%，而 kappa 值也高達到 0.85，足以顯示林型判釋的高度可用性。本計畫在接續的森林資源調查人工編修作業輔助工作中，仿造圖資編修人員判斷準則，選擇採用單純林型判釋的機率結果去推論混淆林林型之類別。

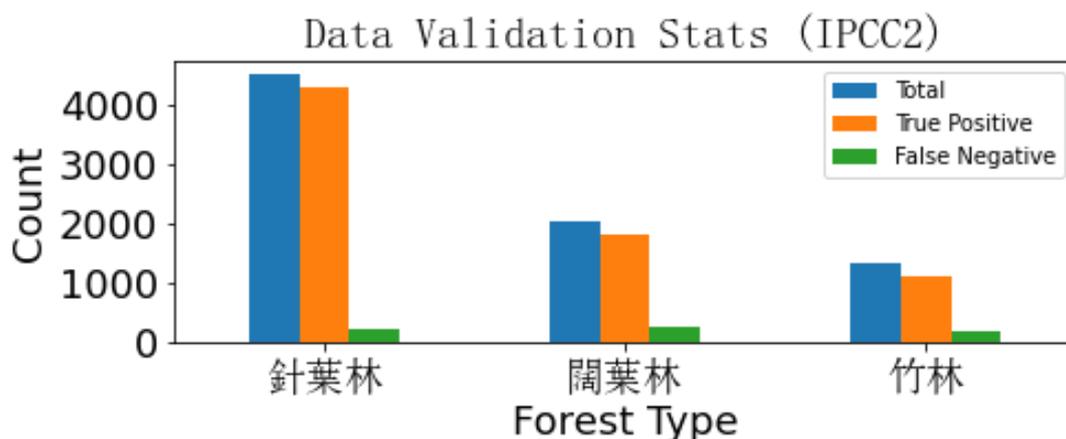


圖 6-7 林型判釋模型驗證資料分類成果

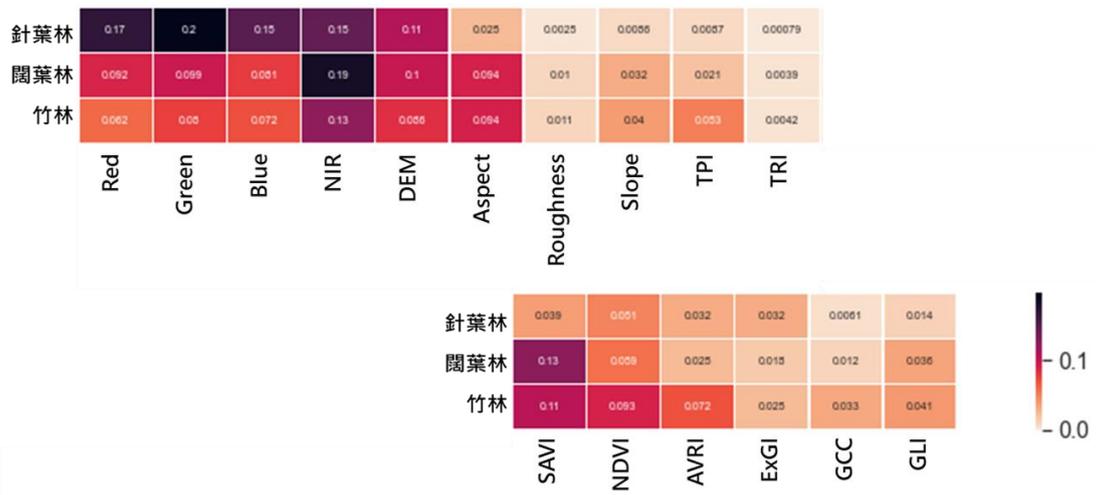


圖 6-8 林型判釋模型之各輸入參數特徵熱點地圖

表 6-2 林型判釋誤差矩陣對照表

誤差矩陣		分類結果				
		針葉林	闊葉林	竹林	總和	PA
現地資料	針葉林	4293 (54.42%)	172 (2.18%)	42 (0.53%)	4507	95.25%
	闊葉林	176 (2.23%)	1830 (23.20%)	46 (0.58%)	2052	89.18%
	竹林	111 (1.41%)	135 (1.71%)	1083 (13.73%)	1329	81.49%
	總和	4580	2137	1141	7888	100.00%
	UA	93.73%	85.63%	94.92%	100.00%	

二、森林資源調查人工編修作業輔助

為了確實應用計畫成果，藉此輔助過往森林資源調查人工編修作業，本計畫基於多次的需求訪談內容，規劃森林物件萃取自動化輔助流程，並完成初步的雛形開發，提早提供所內測試，以作為續期計畫精進調整之方案。以下針對機器學習方法輔助架構規劃，以及森林覆蓋型辨識工具雛形開發，分述說明其執行成果細節。

(一) 機器學習方法輔助架構規劃

本計畫基於機器學習模型訓練流程進行輔助架構之擴充，藉此應用於實際的人工編修作業之中。為了達成上述之目的，本計畫執行團隊與農航所歷經多次需求訪談討論並實際了解操作過程(圖 6-9)，除了深入瞭解現行編修作業流程與操作原則外，也多次討論本計畫訓練出的機器學習判釋模型，該如何輔助辨識的同時，又不會額外造成業務執行的困擾，並達成優化操作之目標。對此，本計畫將整個機器學習架構流程分為三個區塊，如圖 6-10 所示，包含「專家訓練輔助流程」、「機器學習模型訓練流程」，以及「模型部署與預測流程」。以下針對各階段流程細節與任務工作逐一說明之。

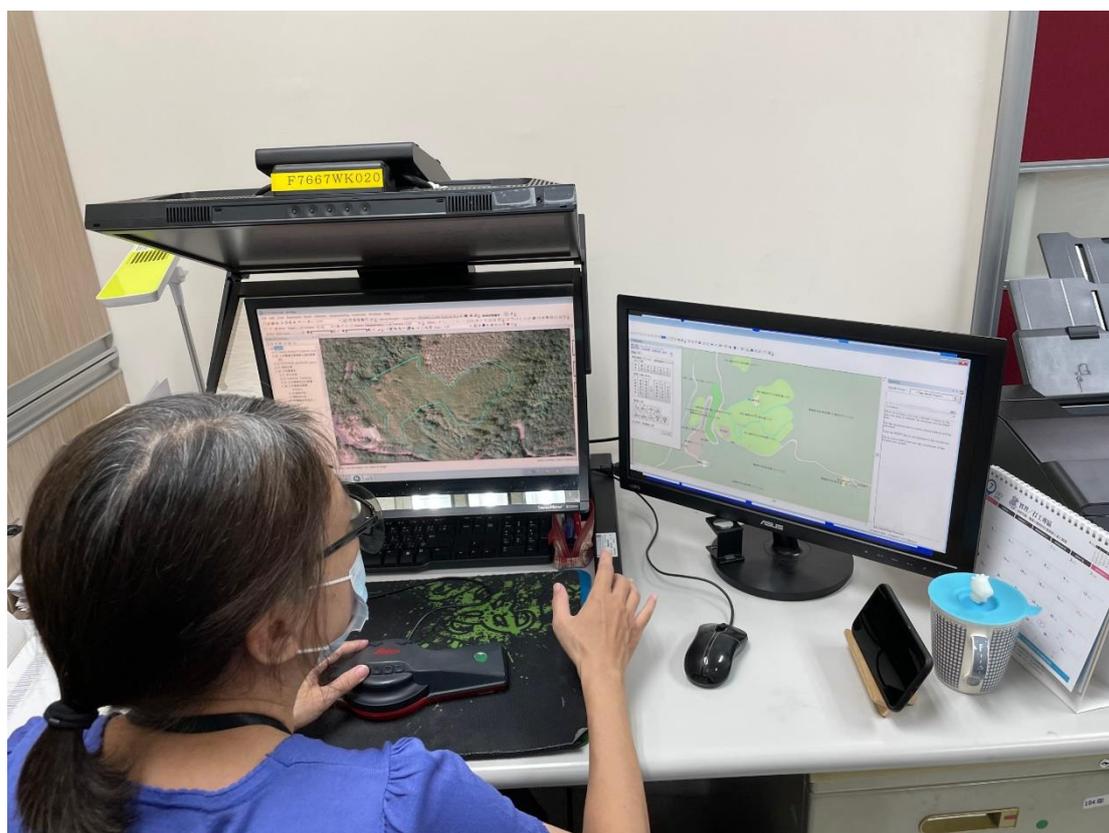


圖 6-9 檢訂調查編修作業畫面

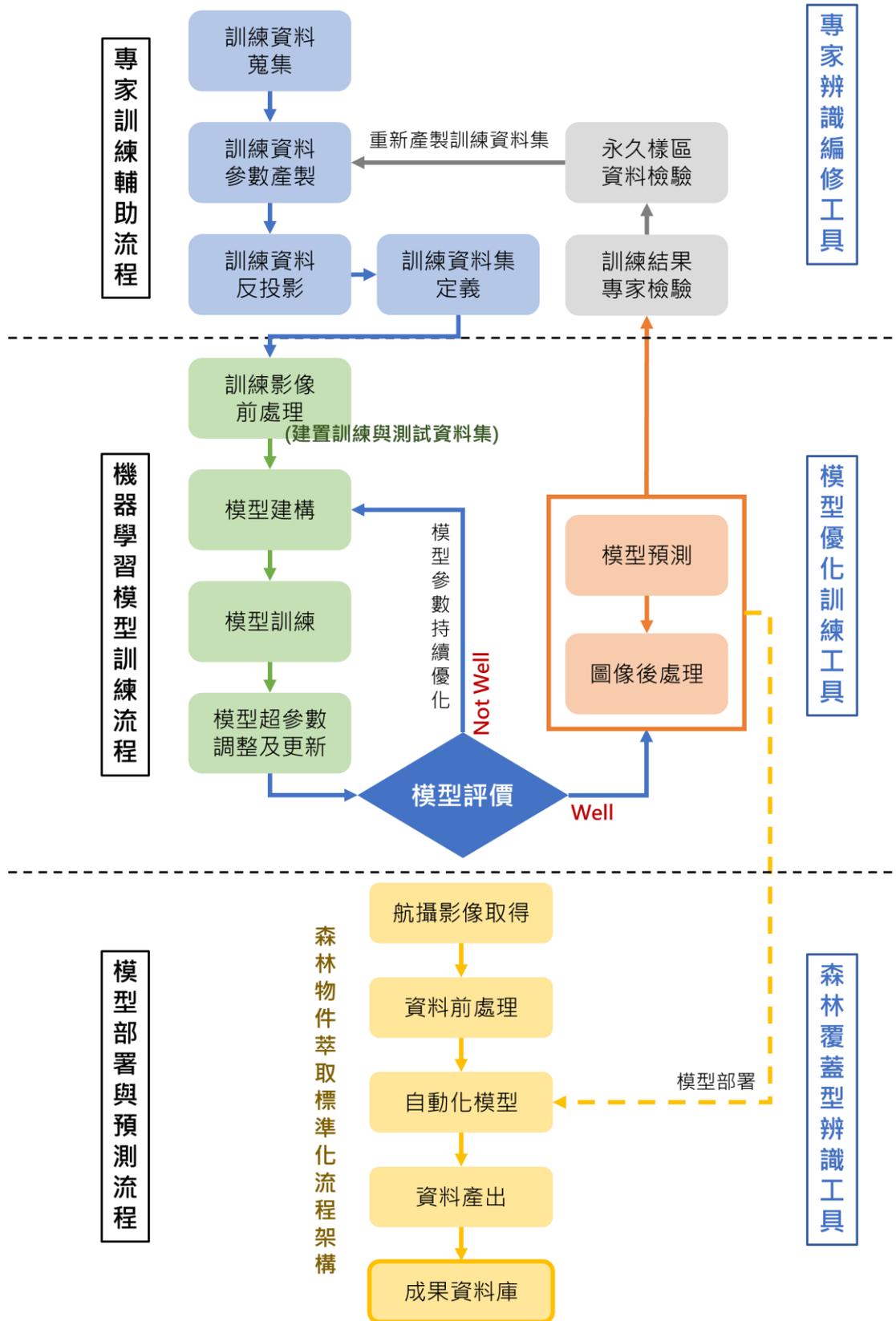


圖 6-10 森林覆蓋型自動化萃取系統架構

1. 專家訓練輔助流程

考慮到現行機關實務產製或編修林型圖(標記資料)的作業方法，仍維持在森林專業從業人員的主觀判定上，導致存在類別誤植的問題，在專家訓練輔助流程中將進行模型訓練前期的資料品質控制，藉由反覆的糾錯、改正或驗證工作，提升訓練資料品質。在109年計畫中，已針對訓練資料產製流程，定義明確的操作步驟，包含資料搜集、參數產製、資料集定義與反投影方法。本期(110年)計畫為了擴充訓練模型，增加模型訓練參數如航攝影像的光譜波段組合指標，並增加影像數量，以處理更高維度的樹種、林型判釋問題。

而面對訓練資料與標記資料的檢核，設計專家檢驗流程，在模型產出判釋結果後，由森林專業從業人員輔助檢視，確認判釋結果與標記資料是否有誤，若發現判釋結果有誤，則予以修正，並將修正後的標記資料重新輸入模型進行訓練，重複滾動式的修正，使資料品質越趨完善，並降低因標記資料誤植而造成誤判的情形發生。然實際的作業方法應考慮模型訓練的時效，以及檢核資料的累積，因此相關更新機制與流程規劃將透過【專家辨識編修工具】，於續期(111年)計畫完成輔助工具功能定義與介面開發，並於實際運作後提供未來維繫模型更新之建議。

2. 機器學習模型訓練流程

作為機器學習訓練架構之核心，此流程係參考相關電腦視覺案例所設計，使用前階段定義好的資料集結構，依照模型訓練所需，進行訓練資料與測試資料之切分，透過持續不斷的模型評價與超參數調整更新，達成訓練模型之優化。在第一期(109年)的計畫中，已針對11樹種依循訓練流程，建置樹種判釋模型，在11種參數的輔助訓練下，獲得了65.3%的整體準確率與0.618的Kappa值。在今年因增加更多影像學習樣本，擴充樹種判釋模型增加至19樹種，已可達到整體精度73%與0.7的Kappa值。而在林型的判釋上，更達到整體精度88%與0.85的Kappa值。

然而，從 109 年的經驗發現，訓練資料集仍舊存在需要調整與修正的系統性問題，甚至發現屬性填錯的狀況，包含林型圖框反投影後的偏差、類別誤植或圖框編修不精確的事實問題。因而需要增加「專家訓練輔助流程」的機制從源頭確保訓練資料之品質，累積校正建議後再一次依循原來的「機器學習模型訓練流程」來進行訓練。在第三年(111 年)計畫中，預期以【模型優化訓練工具】建立實際的自動化模型重新訓練操作介面，擔任未來輔助作業中模型更新的重要角色，並且接收【專家辨識編修工具】編修過的訓練資料集進行模型優化訓練。當然，亦可評估保留訓練資料的擴充邏輯，以符合模型越練越準的長遠目標。

3. 模型部署與預測流程

當判釋模型有條件的通過專家訓練輔助流程，亦完成訓練過程內的模型評價，才能進一步實現模型部署與預測流程，真正邁向自動化判釋系統之建置，輔助機關在既定作業中達到節省時間人力、客觀提升判釋率之成效。基本上，部署完成的模型，應能應用於農航所既有圈繪流程，未來只要輸入原始 DMC 航攝影像，便能根據模型的設計邏輯與既定目標進行偵測，由模型偵測過去學習過的林型特徵是否存在，並判釋其屬性，以得到完整的森林覆蓋型判釋結果，協助專業人員判釋。

完整的辨識流程係基於森林物件萃取標準化流程所設計，應以【森林覆蓋型辨識工具】操作介面來輔助圖資編修人員例行的業務專案工作，透過批次自動化的機器學習模型，進行林型與樹種特徵類別完成初步的判斷，並以建議而非取代的角度來提供圖資編修人員主觀判釋的參考，以達到辨識標準化與作業效率化之目的。同時也必須具備模型相容功能來接受任何一次透過【模型優化訓練工具】重新更新的新模型。當訓練資料品質愈來愈好，持續更新的模型，才會讓森林覆蓋型辨識效果越來越理想。

為了及早了解圖資編修人員實際的操作回饋，以完善工具操作

介面之需求，本年(110 年)度計畫目前已優先完成【森林覆蓋型辨識工具】雛形設計及開發，並完成初步的教育訓練與程式安裝測試，其雛形開發細節將於下一章節進行說明。

(二) 森林覆蓋型辨識工具雛形開發

為能確實輔助現行森林調查作業流程，在不過度變更作業人員編修操作流程的原則下，提供航攝影像模型判釋之結果，作為作業人員林型、樹種判釋之參考。在多次與農航所的訪談中，考慮到交錯複雜的混淆林種植現況，以及實際編修過程中，並不常對既有的林型圖框進行挪移編修，僅切割圖徵與更新屬性，因此選擇以單純林判釋為基礎，透過精確的樹種判釋與林型判釋，得到影像上每個單元的分類結果，並藉由分類機率來反推該單元屬於 IPCC2 的單純林或是混淆林，此一邏輯設計應更加符合作業人員人眼判釋的判定原則，確實加速圖資編修的效率。因此，有關【森林覆蓋型辨識工具】開發雛形之功能需求、運作流程、系統設計、與圖資產出細節如下。

1. 功能需求

依據幾次的工作會議討論，本期計畫森林覆蓋型辨識工具功能需求包含幾個重點。第一，為了搭配現行圖資編修作業，辨識工具需能批次處理至少五張影像。第二，為了貼近專家人工識別的最小單元，每張影像固定裁切辨識的最小單元為 256x256 像素(約 0.4 公頃)。第三，為了確實輔助圖資編修的進行，產出辨識結果需與既有林型圖比對其差異，讓作業人員可在既有的流程中，快速檢視具有差異的影像單元。第四，為了了解模型判釋的細節，判釋分類機率、建議分類與原始的林型圖分類結果都需要一起存取，方便作業查找確認。第五，為了提供完整的辨識結果，整張影像不論是有否包含森林範圍都必須裁切且辨識。最後，辨識工具應具備未來擴充之彈性，允許相同架構的模型可以置換更新。

2. 運作流程

【森林覆蓋型辨識工具】從資料讀取到圖資產出共分為三個除錯機制與七個處理程序，如圖 6-11 所示。在除錯機制的設計，(1)檔名檢查，作為系統除錯的第一道關卡，確保使用者放入的影像資料是具備標準命名格式之 DMC 航攝影像(例如 091101s_18~0680_hr4.tif)，其他類型的影像或命名不符邏輯者予以排除；(2)波段檢查，由於民國 95 年前的部份 DMC 航攝影像並不存在近紅外光波段 (NIR Band)，缺少該波段將無法計算模型辨識所需的光譜組合指標，因此需予以排除；(3)涵蓋範圍檢查，在現行的功能需求中 DMC 航攝影像需要與第四次森林資源調查檢訂調查林型圖框(SHP 圖檔)做比對，若取得的影像與林型圖 SHP 圖檔不交集，就無法進行辨識與比對，因此需予以排除。

通過邏輯判斷後的 DMC 航攝影像，得進入處理程序運作。(1)網格化與反投影，為了在最後的辨識階段，能逐一比對既有的森林覆蓋型辨識結果，交集的林型圖 SHP 圖檔與 DEM 資料均需將重疊的林型範圍網格化與反投影；(2)DMC 影像裁切，係為了配合實務作業辨識之需求，將影像裁切為 256x256 像素，以作為模型判釋的最小單元；(3)產製模型輸入參數，依循模型設計之架構，判釋所需的 16 項參數因子此時會全部計算完成，並轉為模型輸入所需的資料格式；(4)模型判釋，將所有影像單元輸入模型進行森林覆蓋型辨識，並記錄 IPCC3 純林分類機率與其對應之 IPCC2 林型分類機率；(5)輸出最終分類結果，至此所有的分類機率會根據事先給定的機率門檻做最後的分類建議，如表 6-3 所示，當只有一種林型機率大於 0.7 時，判定為該林型，有兩種林型機率大於 0.3 但小於 0.7 時，判定為兩種林型的混淆林，有三種林型的機率大於 0.3 但小於 0.7 時，視為三種林型的混淆林，若沒有林型的機率大於 0.3，則判定為非林型；(6)與林型圖比較，完成辨識與分類建議的結果，會同步與事先切好的林型圖 SHP 圖檔做交叉比對；(7)寫入 SHP 圖檔；每一個影像單元 (256x256 像素)都比對完成後，會按照原來裁切前的相對位置，連同

分類機率、分類建議一起寫入 SHP 圖檔，最後使用者就可使用產出的成果，在既有的 GIS 操作介面檢視辨識結果，如圖 6-12。

3. 系統設計

為了及早了解圖資編修人員實際的操作回饋，以完善工具操作介面之需求，本年(110 年)度計畫目前已優先完成【森林覆蓋型辨識工具】雛形設計及開發，其系統設計採以命令列介面(Command-Line Interface, CLI)做處理，使用者僅需依規則放入資料，並以簡單的程式指令操控方可運行。系統設計上，為了克服模型運作所需使用的套件環境相容性，本計畫基於 Docker 進行軟體容器化包裝。Docker 是一套開放原始碼軟體，通常可將其視為一個平台或容器，在許多開發應用、交付應用或執行應用中使用，能讓維護過程更加方便。Docker 容器的概念與虛擬機器類似，但二者在原理上有明顯的差異。前者是將作業系統層虛擬化，而後者則是在硬體上進行虛擬化作業。因此，容器更具備方便攜帶的特性，以及高效率地善用伺服器資源。以 Docker 的框架進行開發，在容器標準化與單元標準化的兩個特色下，使用者可無視基礎環境的差異，將軟體部署到任何作業電腦。因此，考慮到模型部署的彈性與系統維護的便捷性，【森林覆蓋型辨識工具】選擇以 Docker 的方式部署於農航所指定之主機。

4. 圖資產出

【森林覆蓋型辨識工具】產出檔案以 SHP 圖檔為主，其記錄的欄位格式如表 6-4，包含主要分類欄位，紀錄模型辨識後建議的分類，以及原本紀錄於第四次森林資源調查檢訂調查的分類，亦包含比較後的結果方便進行檢索；IPCC2 欄位紀錄了模型可辨識的三種單純林型；IPCC3 欄位紀錄了模型可辨識的 19 種純林。

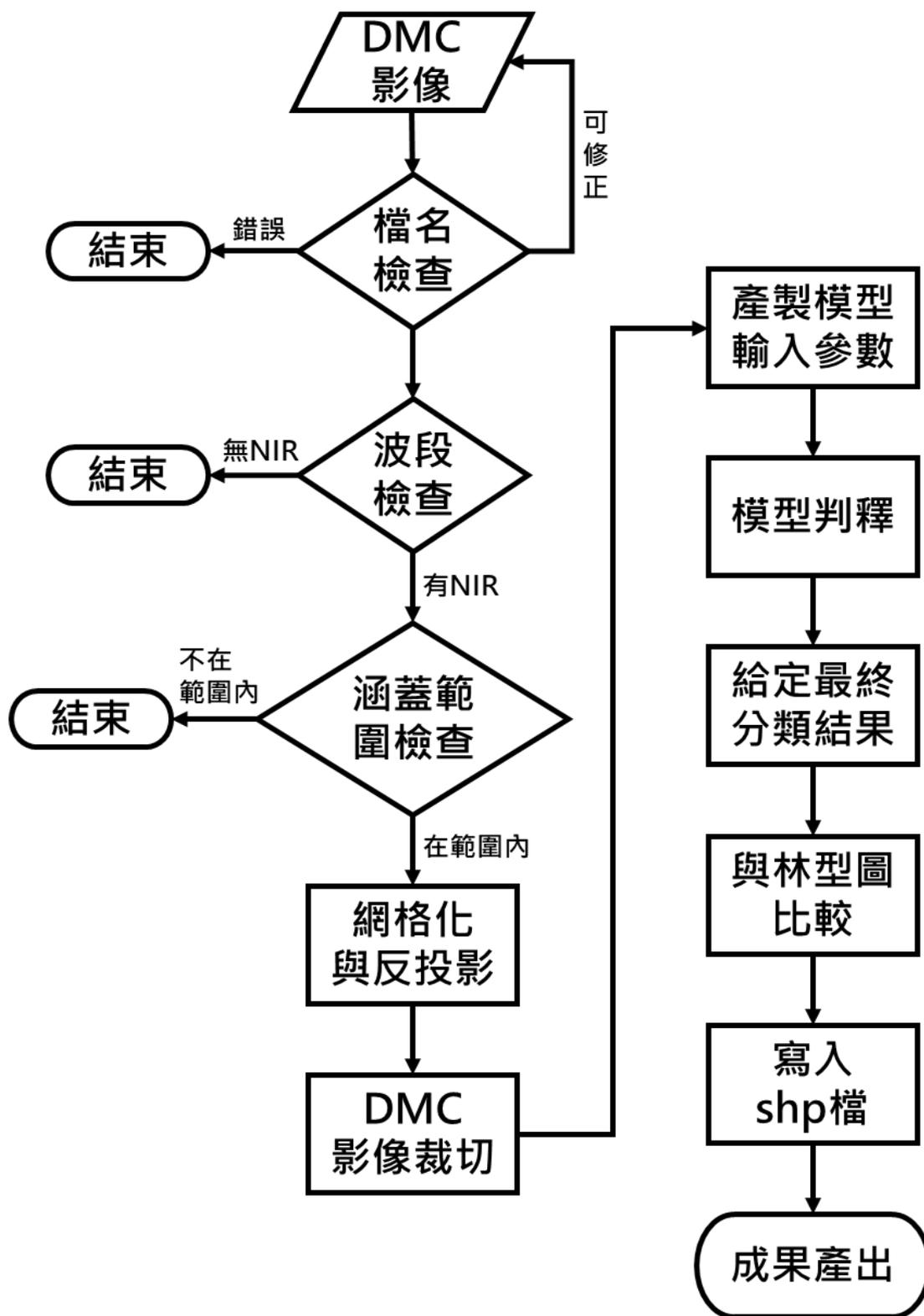


圖 6-11 輔助工具運作流程

表 6-3 依照林型機率邏輯表決定最終分類成果

林型	針葉樹	闊葉樹	竹類
針葉樹林型	0.7 ↑	0.3 ↓	0.3 ↓
闊葉樹林型	0.3 ↓	0.7 ↑	0.3 ↓
針闊葉樹混淆林	0.3-0.7	0.3-0.7	0.3 ↓
竹林	0.3 ↓	0.3 ↓	0.7 ↑
竹闊混淆林	0.3 ↓	0.3-0.7	0.3-0.7
竹針混淆林	0.3-0.7	0.3 ↓	0.3-0.7

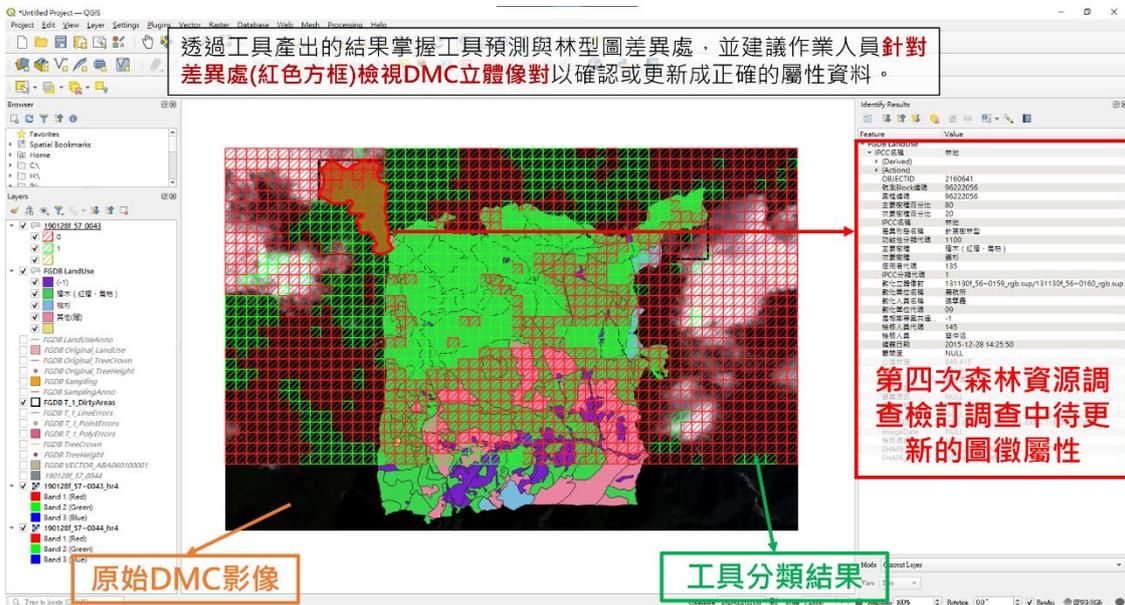


圖 6-12 於一般 GIS 軟體檢視輔助工具產出成果

表 6-4 森林覆蓋型辨識工具產出 SHP 檔各欄位參考

	欄名	範例	備註
1	ipcc2	竹闊混淆林	紀錄模型辨識後建議的分類，依照既有代碼顯示。
2	ipcc3	單桿狀竹	
3	GT_ipcc2	2	紀錄第四次森林資源調查記錄的分類，依照既有代碼顯示。
4	GT_ipcc3	18	
5	acc_ipcc2	0	比較上述欄位是否相同或相異，1 表示相同，0 表示不同。
6	acc_ipcc3	0	
7	針葉樹林型	0.0001	模型判釋為該分類的機率
8	闊葉樹林型	0.3071	
9	竹林林型	0.6929	
10	冷杉	0	模型判釋為該分類的機率
11	鐵杉	0	
12	檜木	0	
13	台灣杉	0	
14	杉木	0	
15	臺灣肖楠	0	
16	柳杉	0.0015	
17	松樹	0	
18	其他針	0	
19	相思樹	0.0237	
20	大桃花	0	
21	台灣赤楊	0	
22	銀合歡	0	
23	光臘樹	0.0008	
24	台灣檫	0	
25	木油桐	0	
26	其他闊	0.2442	
27	單桿狀竹	0.5359	
28	叢生狀竹	0.1938	

三、銀合歡判釋模型建構工作評估

銀合歡 *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit 為豆科植物，又名白相思子，原產於中南美洲，由於樹皮含量低，木材比重高，有研究認為其紙漿收率高，且品質佳，為造紙的好材料，亦可作為用材及工業用燃料，因此曾有「能源樹種」之稱，也是當年嘗試引進台灣的主要原因。在生態上，銀合歡具有生長快速、材質佳、可作飼料、砍伐後亦可萌芽更新等優點，加上銀合歡是根瘤植物，可製造氮肥，因此亦成為台灣多年來最受矚目的造林樹種之一。然而，也因為銀合歡的生長傳播快速，適應力強，因此容易大量入侵裸露地，有銀合歡生長的區域，他種植物就難以生存。近年來入侵問題日益嚴重，狀況最糟的恆春半島幾乎整個淪陷，隨著相關單位的關注，現續投入經費，希望有效遏止銀合歡蔓延，重建森林原貌。

銀合歡對於林務局乃至於農航所都是至關重要的關切議題，針對這樣特定樹種的輔助判釋與空間定位尤其重要。為此，本期(110年)擴充樹種判釋模型時，已將銀合歡納入分類選項之一，然而判釋成果尚不理想。從前述統計結果不難看出幾個問題。第一，相比於其他純林，可用於訓練的樣本數量比例相當懸殊，進而影響模型判釋能力。第二，現階段應用於模型訓練的第四次森林資源調查檢訂調查之林型圖框，並未完全涵蓋銀合歡實際分布之範圍，因而必須額外增加銀合歡調查圖資用於模型之訓練，連帶的航攝影像的檢索與反投影等前處理也必須重新進行。

基於上述原因銀合歡判釋模型應作為特定物種辨識之議題，設計單一樹種辨識方法。現階段雖已取得覆蓋銀合歡範圍的航攝影像共計 160 張，以及農航所人工圈繪的調查圖框(圖 6-13)，但為了專注於本期計畫工具雛形開發之主要目標，訓練資料蒐整完善後將於第三年(111 年)依循計畫目標建立特定物種辨識模型。另考慮到辨識工具未來應用之擴充性，初步規劃採用與現行樹種判釋模型相同的訓練架構進行訓練，參數因子的選擇同樣包含 4 個光譜波段、6 個地文

因子，以及 6 個光譜組合指標，而模型架構亦選擇採用 CNN 搭配 DNN 的方法進行。最終訓練完成的模型應同樣整併至森林覆蓋型辨識工具，以提供所內實際辨識作業之輔助。

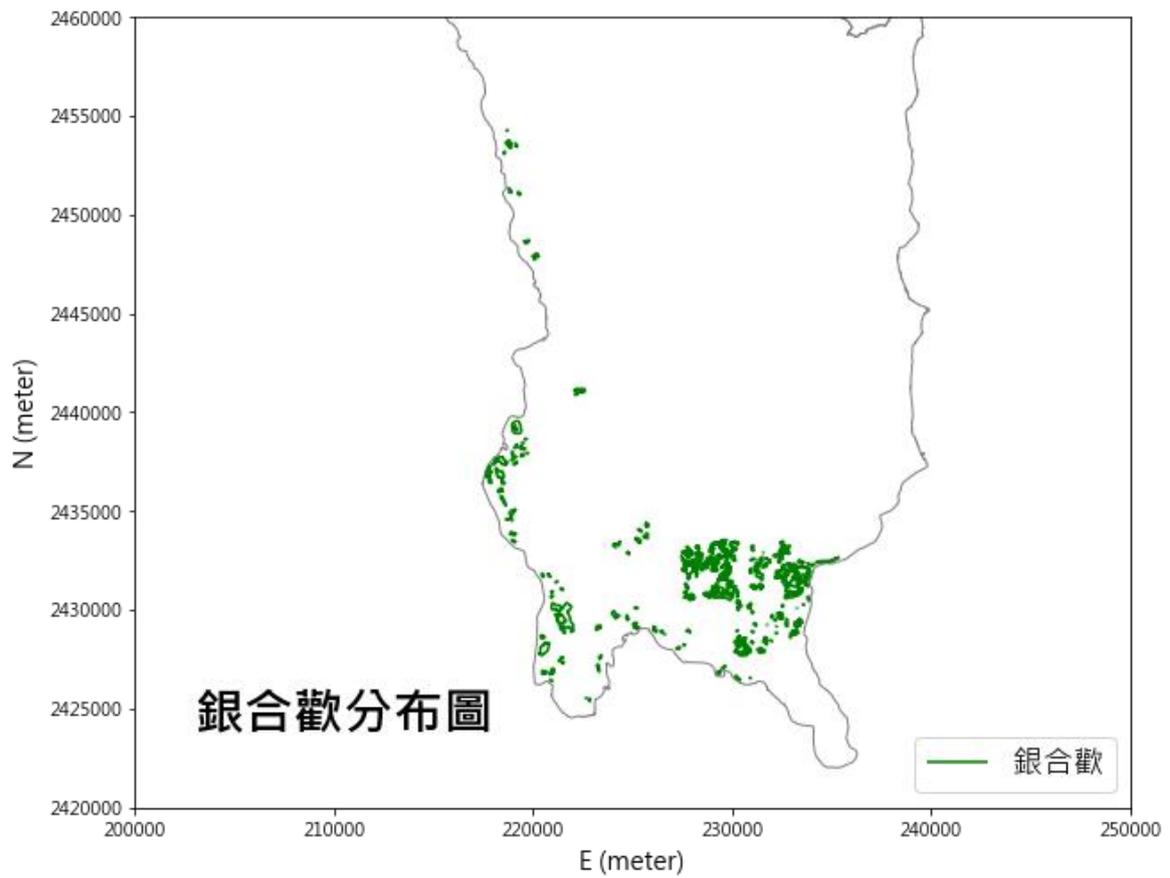


圖 6-13 恆春半島銀合歡分布範圍圖資

第七章、論文投稿

為了強化本計畫研究成果之技術擴散效益，自前一期計畫即追蹤並規畫相關國內外會議投稿作業(表 7-1)。然而，受到全球疫情影響，不少會議延後或取消。本期(110 年)最終以現行計畫成果，完成國內兩場研討會之論文投稿。包含由國立聯合大學、社團法人台灣地球觀測學會聯合主辦之第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會(The International Conference on Earth Observations and Societal Impacts, ICEO&SI 2021)，以及由中華林學會主辦之 110 年森林資源永續發展研討會。

「第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會」原定於今年 6 月底舉辦，受疫情影響延後至 8 月 23 日於聯合大學舉辦，相關計畫成果已以「應用卷積神經網路模型(CNN)於航測影像森林覆蓋型分類之研究」為題，順利透過海報張貼的方式於會議上曝光(圖 7-1)，倡議人工智慧技術對於森林生態系統資料處理之優勢。另外，為了獲取更多技術交流之機會，本計畫亦於 10 月 28 日在「110 年森林資源永續發展研討會」上以「應用機器學習方法於航測影像之樹種分類研究」為題，透過海報張貼的方式於會議上曝光(圖 7-2)，盼能以本計畫案例分享森林資源調查的嶄新應用技術，而本次投稿也獲選林學組教研海報發表第一名的殊榮(圖 7-3)。相關論文摘要與海報內容將於附錄一補充之。

表 7-1 國內外重要研討會列表

區域	會議名稱	日期	地點	簡述
國際	ISRS (International Symposium on Remote Sensing)	110.05.26~28	線上會議	國際年度舉辦的遙測學術交流活動。
國際	ICEO&SI (The International Conference On Earth Observations and Societal Impacts)	110.08.23~24 (已投稿參加)	臺灣苗栗	國內每年舉辦之國際研討會，利用各項遙測技術進行地球觀測與解決天災與自然生態議題。
國際	ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)	110.07.04~10	法國尼斯	全球四年舉辦一次的遙測學術交流活動。
國際	ACRS (Asian Conference on Remote Sensing)	110.11.22~26	越南芹苴	亞洲區域年度舉辦的遙測學術交流活動。
國內	TGIS 臺灣地理資訊學會年會暨學術研討會	110.06.30~07.01	臺灣台中	國內年度舉辦的 GIS 學術交流活動。
國內	SG 測量及空間資訊研討會	110.10.28~29	臺灣三峽	國內年度舉辦的測量學學術交流活動。
國內	森林資源保存與利用研討會	110.09.09~10	臺灣台北	國內年度舉辦的林木相關研究交流活動。
國內	森林資源永續發展研討會	110.10.28~29 (已投稿參加)	臺灣嘉義	國內年度舉辦的森林資源研究交流活動。

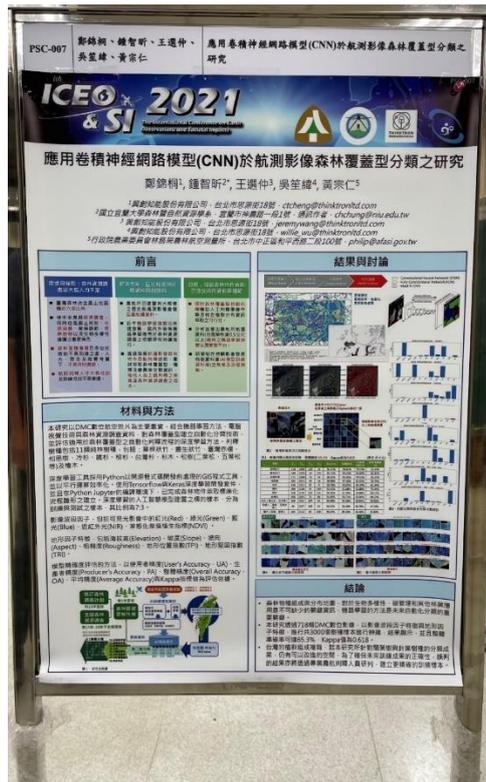


圖 7-1 第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會計畫成果海報展示

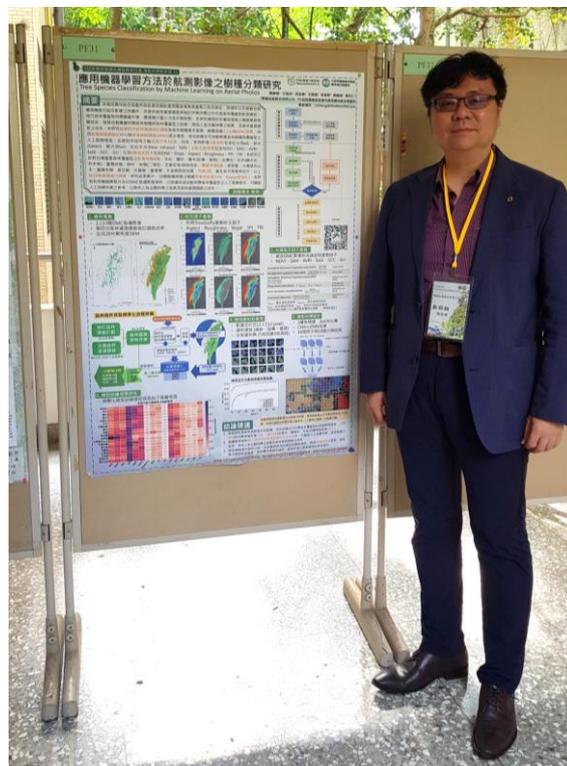


圖 7-2 110 年森林資源永續發展研討會成果海報與計畫主持人合影



圖 7-3 森林資源永續發展研討會獲獎留影

第捌章、教育訓練

本期(110年)教育訓練課程已於110年11月4日辦理完成，教育訓練採線上會議形式進行，農航所方共28人參與課程，內容包含計畫年度成果與未來展望、森林覆蓋型輔助判釋工具之使用教學，此外亦涵蓋了與計畫相關之技術應用介紹，包含由國網中心與太空中心共同推動的台灣資料立方(Taiwan Data Cube, TWDC)應用服務、遙測於森林管理之應用，以及人工智慧技術應用及新議題之探討等內容。課程內容由本計畫執行團隊分別進行專業講述，相關課程表如表8-1所示，全程共計六小時。會後亦藉由綜合討論的時間，與農航所及相關機關進行深入技術探討，與未來計畫藍圖之意見交換。檢附教育訓練線上會議畫面截圖(圖8-1)與會議簽到單(圖8-2、圖8-3)。課程簡報內容則收錄於本計畫附錄三。

表 8-1 教育訓練課程表

時間	時數	課程名稱	講師
09:00-10:00	60 分	年度成果報告與未來展望	鄭錦桐 博士 興創知能總經理
10:00-10:30	30 分	輔助工具教學	吳笙緯 產品分析師
10:30-10:40 休息時間			
10:40-11:40	60 分	輔助工具實作	魏擇壹 AI 工程師
11:40-12:10	30 分	DataCube 應用	張淵翔 產品分析師
12:10-13:30 午休時間			
13:30-14:30	60 分	遙測於森林管理之應用	鍾智昕 博士 宜蘭大學副教授
14:30-14:40 休息時間			
14:40-15:20	40 分	AI 的基礎及領域應用結合	黃梓育 AI 演算法工程師
15:20-16:00	40 分	深度學習技術概論及其應用	李冠澄 AI 演算法工程師
16:00-16:10 休息時間			
16:10-16:50	40 分	綜合討論	

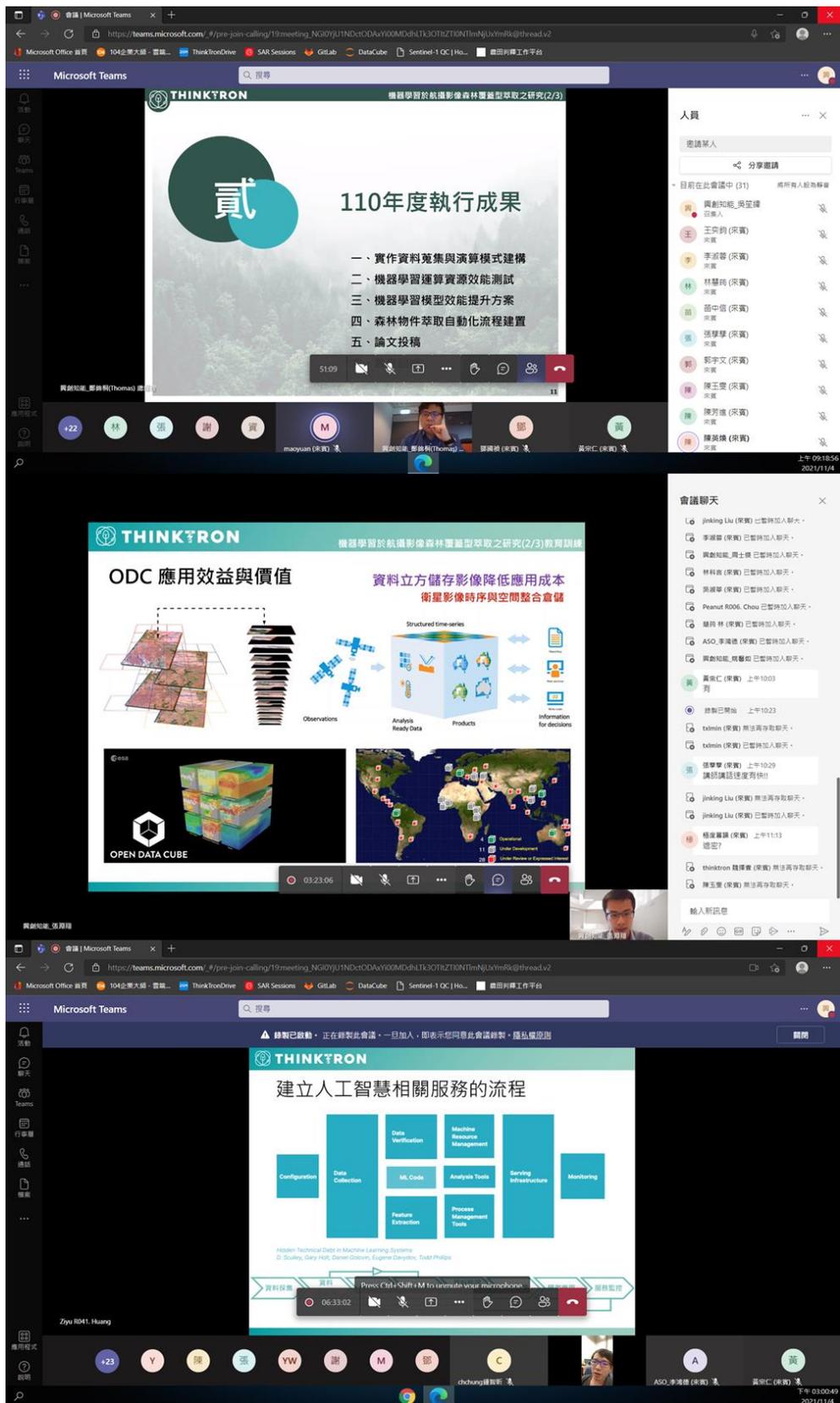


圖 8-1 教育訓練上課畫面

行政院農業委員會林務局農林航空測量所
機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)
簽到表

時間：110年11月4日(四) 09:00-16:40

課(室)	姓名	簽名
所長	吳淑華	吳淑華
副所長	林科言	林科言
秘書	李淑蓉	李淑蓉
資源調查課	鄧國禎	鄧國禎
	陳玉雯	陳玉雯
	黃宗仁	黃宗仁
	郭宇文	郭宇文
	王奕鈞	王奕鈞
	蔡家銘	蔡家銘
	狄君菱	狄君菱
圖資供應課	陳香如	陳香如
	何宗融	何宗融

空間測量課	葉堃生	葉堃生
	許玉君	許玉君
	劉致同	劉致同
	陳芳進	陳芳進
	謝幸宜	謝幸宜
	張學鑫	張學鑫
	林慧筠	林慧筠
影像處理課	李茂園	李茂園
	李子群	李子群
	李治遠	李治遠
	許浩銓	許浩銓
資料管理課	李鴻德	李鴻德
	苗中信	苗中信
	陳英煥	陳英煥
	廖豫偉	廖豫偉
綜合企劃課	許輔仁	許輔仁

圖 8-2 教育訓練學員簽到表

行政院農業委員會林務局農林航空測量所
機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)
簽到表

時間：110年11月4日(四) 09:00~16:40

課(室)	姓名	簽名
興創知能股份有限公司	鄭錦桐	鄭錦桐
	吳笙緯	吳笙緯
	魏擇壹	魏擇壹
	張淵翔	張淵翔
	黃梓育	黃梓育
	李冠澄	李冠澄
國立宜蘭大學	鍾智昕	鍾智昕

圖 8-3 教育訓練講師簽到表

第玖章、結論建議與續期規劃

本計畫基於深度學習方法，搭配農航所大量航攝影像，設計森林覆蓋型辨識模型，對於選定的純林與單純林型進行分類判釋。在演算法精進上，規劃了重要的測試試驗，評估模型優化的方向，並在最後階段使用 16 項參數因子，完成 19 類的樹種辨識，以及 3 類的林型辨識，樹種整體準確率達 73%，Kappa 值為 0.7，林型準確率 88%，Kappa 值為 0.85。另外在硬體評估工作中，除了蒐整現有的雲端運算資源，也實際使用農航所指定的伺服器進行運行測試。而為了實際優化既有的圖資編修作業，也先行完成森林覆蓋型辨識工具雛形開發，以在續期計畫中完善介面設計，以下就各項工作說明重點成果，並規劃續期工項。

一、結論建議

(一) 研究高解析度航攝影像以機器學習技術自動化萃取森林覆蓋型之演算模式與實作資料蒐集

DMC 航攝影像作為模型訓練的主要資料，本期針對較稀缺的純林與乾濕季時間進行補充，截至本期共累計使用 3,248 幅。現地資料改以 109 年林務局最新編修的第四次森林資源調查檢訂調查資料作為關鍵的學習目標。演算模式建構則延續了前期(109 年)計畫之影像處理架構，僅改以正高進行反投影，而訓練架構不變的情況下，將樹種判釋自原先的 11 類擴充至 19 類，參數因子則也以現有的資料擴充至 16 項。

(二) 評估機器學習相關軟體與國內高速運算資源及測試

為了提供所內未來模型擴大運用評估之參考，本計畫針對國內外常用的運算資源進行盤整，亦包含我國國網中心的服務與報價細節。考慮到航攝資料敏感度、現階段模型穩定度與目前的使用情

境，短時間仍以本地端資源為主，並完成在農航所指定之伺服器進行運算效能的測試評估。從幾個詳實記錄的測試結果來看，目前所指定之硬體效能應足夠應付本計畫模型訓練與辨識。

(三) 研究機器學習演算法及流程效能提升方案

本計畫規劃四項效能提升方案進行測試，在光譜波段組合指標試驗中除了原有的 NDVI，亦新增了 5 項組合指標包含 SAVI、ARVI、ExGI、GCC 與 GLI，從熱點分析圖顯示確實有助於提升模型判釋能力。然而，在特徵金字塔網絡(FPN)的試驗成果中，模型並沒有顯著提升，因此最終並未納入模型優化。在物候特性試驗中，以乾濕季的測試資料來分群評估模型準確性，結果顯示兩群模型評價統計的結果並無太大差異，也代表目前的模型並不受乾濕季影像準確性。在多元影像判釋模型擴展性試驗工作中，從兩張正射影像的初步判釋結果顯示，模型判釋準確度不高，但具有擴展性之可能，未來若要擴充可加入正射影像樣本並重新訓練模型。

(四) 以機器學習技術自動萃取森林物件特徵演算法評估測試與調查流程建置

為了實現混淆林型的分類需求，本計畫除了完成 19 種純林的判釋，更額外增加了 3 種單純林型的判釋模型，其模型精度分別為 73%與 88%，kappa 值分別為 0.7 與 0.85。同時，也透過多次的訪談討論，設計了森林資源調查人工編修作業輔助方法，以及各階段對應的操作工具，讓判釋模型能夠依循混淆林型分類邏輯，融入實際的編修作業中。並在完整的流程架構中，規劃了三種介面化工具包含森林覆蓋型辨識工具、專家辨識編修工具，與模型優化訓練工具。本期更即早針對森林覆蓋型辨識工具進行雛形開發與實機測試，讓使用者得透過工具取得 DMC 航攝影像的模型辨識與差異分析之結果。

(五) 投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會

為了強化本計畫研究成果之技術擴散效益，本期完成國內兩場研討會之海報論文投稿。包含 110 年 8 月 23 日至 24 日舉辦的第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會(The International Conference on Earth Observations and Societal Impacts, ICEO&SI 2021)；以及 110 年 10 月 28 日至 29 日舉辦的 110 年森林資源永續發展研討會。同時，在此次會議上，本計畫更以「應用卷積神經網路模型(CNN)於航測影像森林覆蓋型分類之研究」為題，獲選林學組教研海報發表第一名的殊榮。

(六) 教育訓練

本計畫於本期計畫執行尾聲 110 年 11 月 4 日，完成線上教育訓練之辦理，內容除了包含計畫執行進程，與森林覆蓋型 AI 辨識工具操作教學之外，更提供農航所於遙測影像應用、資料倉儲技術及人工智慧發展等議題之探討。透過六小時的對談與互動，幫助所內理解計畫產出與未來應用藍圖。

二、續期規劃

(一) 實證區域規劃與資料蒐集

為了確保森林覆蓋型辨識工具符合現行作業流程之可用性與正確性，本團隊將持續蒐集 DMC 影像，並搭配現行的檢訂調查專案資料，透過本期初步開發完成的工具，進行專案影像的辨識後，由專業人員分析工具產出結果，完善辨識工具的功能。以期符合操作需求的同時，亦找出未來 AI 辨識模型可再精進應用之方向。

(二) 機器學習之軟體開發與硬體規劃、實作與流程標準化

基於現行森林資源調查流程與機器學習的資料處理訓練流程，本團隊規劃開發三種工具分別為專家辨識編修工具、模型優化訓練

工具與森林覆蓋型辨識工具。專家辨識編修工具主要提供專業人員人工檢視測試資料集的正確性，並提供樣本編修屬性之功能；模型優化訓練工具主要透過前者邊修完的資料，重新訓練判釋模型，並把重新訓練完的模型更新至辨識工具中；而森林覆蓋型辨識工具已於本期初步完成，主要功能為輸入 DMC 航攝影像後，將整張影像網格化並判釋出每格的分類結果，應以此為基礎妥善進行自動化軟體開發之實作與流程標準化，包含資料流輸入輸出之定義、軟體容器化打包設計、運作環境需求確認、軟體實際裝機測試、以及現場實機運行紀錄等細節。

(三) 現行森林資源調查架構下以機器學習技術自動化智慧判釋森林覆蓋型模式之實測、效能評估及修正

為了確保森林覆蓋型辨識工具符合現行作業流程之可用性與正確性，應透過農航所實際運行的數個檢訂調查專案(即林型圖資編修)，探討工具辨識結果之正確性與誤判原因分析；也透過專家辨識編修工具，檢視辨識工具辨識出的結果是否正確(包含標記資料錯誤導致的結果錯誤)，將辨識錯誤或標記資料錯誤的樣本重新標記，並在累積了一定數量的修正樣本(至少 1,000 筆)後，透過模型優化訓練工具重新訓練模型，並更新至辨識工具中，使精度能更加提升。完成 AI 模型可用性評估，與模型擴充更新之未來規劃。

(四) 開發機器學習自動化智慧分析介面與調查流程完整化

為了完善自動化分析之需求，除了本期初步完成的森林覆蓋型辨識工具，也規劃開發專家辨識編修工具與模型優化訓練工具。三項自動化工具均可使用簡易的介面進行操作(圖 9-1)，並能融入現有的檢訂調查作業流程，以符合農航所業務操作之需要。



圖 9-1 森林覆蓋型辨識工具介面設計示意圖

(五) 機器學習應用於特定物種自動化偵測之可行性評估

延續本期的測試作業，應選擇以近期最受關注之銀合歡為特定物種目標，進行單一物種的 AI 辨識模型訓練、辨識成果評估。並採用相似的模型架構，以便整併至森林覆蓋型辨識工具內，滿足農航所特殊辨識作業之需求。

(六) 教育訓練與期刊投稿

彙整三年計畫執行成果，規劃投稿至少 1 篇論文至國內外期刊或研討會。同時，應持續辦理教育訓練，探討計畫期間工具開發操作實用性，以期計畫成果能順利為農航所既定業務所用。

參考文獻

1. 行政院農業委員會林務局。105。第四次全國森林資源調查報告。
2. 行政院農業委員會林務局。107。森林資源調查暨國有林事業區檢訂土地覆蓋型及航照樣點圖資更新作業手冊。
3. 馮豐隆。94。森林測計學。國立中興大學森林調查測計研究室。
4. Boly, C., M. Adrien, P. Gaucher, P. Lejeune. 2018. “Forest mapping and species composition using supervised per pixel classification of sentinel-2 imagery.” *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 22(3):172-187.
5. Bravo-Oviedo, A., H. Pretzsch, C. Ammer, E. Andenmatten, A. Barbati, S. Barreiro, P. Brang, F. Bravo, L. Coll, P. Corona, and J. Ouden. 2014. “European Mixed Forests: Definition and Research Perspectives.” *Forest Systems* 23.
6. Grabska, E., Hostert, P., Pflugmacher, D., Ostapowicz, K. 2019. “Forest Stand Species Mapping Using the Sentinel-2 Time Series.” *Remote Sensing* 11:1197.
7. Grigorieva O., O. Brovkina, and A. Saidov. 2020. “An original method for tree species classification using multitemporal multispectral and hyperspectral satellite data.” *Silva Fennica* 54(2):10143.
8. Huete, A. R. 1988. “A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI).” *Remote Sensing of Environment* 25(3):295–309.
9. Immitzer, M., M. Neuwirth, S. Böck, H. Brenner, F. Vuolo, C. Atzberger. 2019. “Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data.” *Remote Sensing* 11:2599.
10. Karkauskaite, P., T. Tagesson, and R. Fensholt. 2017. “Evaluation of the plant phenology index (PPI), NDVI and EVI for start-of-season

- trend analysis of the Northern Hemisphere boreal zone.” *Remote Sens.* 9, 485.
11. Kaufman, Y. J., and D. Tanre. 1992. “Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30(2):261–270.
 12. Klosterman, S., Richardson, A.D. 2017. “Observing spring and fall phenology in a deciduous forest with aerial drone imagery.” *Sensors* 17: 2852.
 13. Kuenzer, C., Ottinger, M., Wegmann, M., Guo, H., Wang, C., Zhang, J., Dech, S., Wikelski, M. 2014. “Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: Potentials and bottlenecks.” *Int. J. Remote Sens.* 35:6599–6647.
 14. Larrinaga, A. R., and L. Brotons. 2019. “Greenness Indices from a Low-Cost UAV Imagery as Tools for Monitoring Post-Fire Forest Recovery.” *Drones* 3(1):6.
 15. Lin, C., S. C. Popescu, G. Thomson, K. Tsogt, and C. I. Chang. 2015. “Classification of Tree Species in Overstorey Canopy of Subtropical Forest Using QuickBird Images.” *PLOS ONE* 10(5):e0125554.
 16. Lin, T. Y., P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie. 2017. “Feature Pyramid Networks for Object Detection.” *Computer Vision and Pattern Recognition*.
 17. Louhaichi, M., M. Borman, and D. Johnson. 2001. “Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat.” *Geocarto International* 16.
 18. Mickelson, J.G., D. L. Civco, and J. A. Silander. 1998. “Delineating Forest Canopy Species in the Northeastern United States Using Multi-Temporal TM Imagery.” *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 64:891–904.
 19. Nagendra, H. 2001. “Using remote sensing to assess biodiversity.” *Int. J. Remote Sens.* 22:2377–2400.

20. Persson, M., E. Lindberg, and H. Reese. 2018. “Tree Species Classification with Multi-Temporal Sentinel-2 Data.” *Remote Sens.* 10:1794.
21. Pfeifer, M., M. Disney, T. Quaipe, and R. Marchant. 2012. “Terrestrial ecosystems from space: a review of earth observation products for macroecology applications. *Glob.” Ecol. Biogeogr.* 21:603–624.
22. Rocchini, D. 2007. “Effects of Spatial and Spectral Resolution in Estimating Ecosystem α -Diversity by Satellite Imagery.” *Remote Sensing of Environment* 111(4):423–434.
23. Sheeren, D., M. Fauvel, V. Josipovic', M. Lopes, C. Planque, J. Willm, J. F. Dejoux, 2016. “Tree Species Classification in Temperate Forests Using Formosat-2 Satellite Image Time Series.” *Remote Sens.* 8:734.
24. Sonnentag, O., K. Hufkens, C. Teshera-Sterne, A. M. Young, M. Friedl, B. H. Braswell, T. Milliman, J. O’Keefe, and A. D. Richardson. 2012. “Digital Repeat Photography for Phenological Research in Forest Ecosystems.” *Agricultural and Forest Meteorology* 152:159–177.
25. Tucker, C. J. 1979. “Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation.” *Remote Sensing of Environment* 8(2):127–150.
26. Wang, S., B. Yang, Q. Yang, L. Lu, X. Wang, and Y. Peng. 2016. “Temporal trends and spatial variability of vegetation phenology over the Northern Hemisphere during 1982–2012.” *PloS One* 11:e0157134.
27. Xu, Z., Shen, X., Lin, C., Coops N. C., Goodbody T. R.H., Zhong, T., Zhao, W., Sun, Q., Ba, S., Zhang, Z., Wu X. 2020. “Tree species classification using UAS-based digital aerial photogrammetry point clouds and multispectral imageries in subtropical natural forests.” *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 92(2020)102173.

附錄一、計畫成果投稿

一、第十屆地球觀測及社會衝擊國際研討會

(一) 投稿摘要

應用卷積神經網路模型(CNN)於航測影像森林覆蓋型

分類之研究

鄭錦桐¹, 鍾智昕^{2*}, 王選仲³, 吳笙緯⁴, 黃宗仁⁵

¹興創知能股份有限公司, 台北市思源街 18 號, ctcheng@thinktronltd.com

²國立宜蘭大學森林暨自然資源學系, 宜蘭市神農路一段 1 號, 通訊作者, chchung@niu.edu.tw

³興創知能股份有限公司, 台北市思源街 18 號, jeremywang@thinktronltd.com

⁴興創知能股份有限公司, 台北市思源街 18 號, willie_wu@thinktronltd.com

⁵行政院農業委員會林務局農林航空測量所, 台北市中正區和平西路二段 100 號, philip@afasi.gov.tw

摘要

森林物種組成與分布地圖, 對於生物多樣性、碳管理和其他林業應用是不可缺少的關鍵資訊。在現行的森林資源調查與檢訂作業中, 航測影像資料是獲取大空間尺度森林資訊的重要工具。然而, 利用航照圖雖可以有效率進行森林覆蓋型的數化, 但是大尺度且精確的判釋植物物種需要大量的樹木學專業知識, 對航照判釋員等而言, 仍是一項艱鉅的任務。本研究依據台灣第四次森林資源調查的森林覆蓋型圖資, 取得 718 幅 DMC 數位影像, 以 20 公尺解析度的 DEM 萃取森林覆蓋型分類有關的各項因子, 選定 5 項波段因子特徵與 6 項地形因子特徵, 以深度學習的卷積神經網路模型(CNN)對森林型覆蓋型分類進行研究。以 11 類純林樹種分類(包括: 單桿狀竹、叢生狀竹、臺灣赤楊、相思樹、冷杉、鐵杉、柳杉、台灣杉、杉木、松樹(二葉松、五葉松等)及檜木, 共 3000 個樹種樣本進行判釋, 結果顯示, 並且整體準確率可達 65.3%, Kappa 值為 0.618。

Keywords: 航測影像, 卷積神經網路模型, 森林覆蓋型

(二) 投稿海報



應用卷積神經網路模型(CNN)於航測影像森林覆蓋型分類之研究

鄭錦桐¹, 鍾智昕^{2*}, 王選仲³, 吳笙緯⁴, 黃宗仁⁵

¹興創知能股份有限公司·台北市思源街18號·ctcheng@thinktronltd.com
²國立宜蘭大學森林暨自然資源學系·宜蘭市神農路一段1號·通訊作者·chchung@niu.edu.tw
³興創知能股份有限公司·台北市思源街18號·jeremywang@thinktronltd.com
⁴興創知能股份有限公司·台北市思源街18號·willie_wu@thinktronltd.com
⁵行政院農業委員會林務局農林航空測量所·台北市中正區和平西路二段100號·philip@afasi.gov.tw

前言

需求與痛點: 森林資源調查量大但人力不足	解決方案: 衛星遙測影像資料與AI技術	目標: 發展森林物件自動萃取技術與資料庫規範
<ul style="list-style-type: none"> 臺灣森林占全島土地面積近六成比例 林分本身具經濟價值, 同時也是區一保安、水綠建設、氣候調節、環境改善以及生物多樣性維護之重要角色 森林直接間接日多位於地不易到達之處, 人力、安全及經費有限, 不易現地調查 航測影像人才不易培訓及訓練或不易掌握 	<ul style="list-style-type: none"> 航測影像已有高大型之航空遙測影像資料, 但影像量龐大 近年感測器演進方法快速發展, 國內外皆有感測器應用於森林資源調查之相關研究與應用 影像發展區影像森林物件自動萃取技術, 實為發展森林資源、種群及數量等管理資訊, 降低人為主觀判斷之差異及森林資源調查之成本 	<ul style="list-style-type: none"> 探討森林覆蓋型自動萃取輔助人工判釋與物件萃取之可行性 分析並提出航測影像資料(含解析度0.5公尺以下)應用之機器學習演算法及開發平台 研擬制定相關影像發展物資料庫(AI標註訓練資料)之規格及資料規範

結果與討論

Convolutional Neural Network (CNN)
Fully Convolutional Network (FCN)
Mask R-CNN

圖1: 航測影像分類之演進過程

圖2: 航測影像分類之演進過程

圖3: 航測影像分類之演進過程

圖4: 航測影像分類之演進過程

材料與方法

本研究以DMC數位航空照片為主要圖資, 結合機器學習方法、電腦視覺技術與森林資源調查資料, 對森林覆蓋型建立自動化分類技術, 並評估適用於森林覆蓋型之自動化判釋流程的深度學習方法。判釋樹種包括11類純林樹種, 包括: 單桿狀竹、叢生狀竹、臺灣赤楊、相思樹、冷杉、鐵杉、柳杉、台灣杉、杉木、松樹(二葉松、五葉松等)及檜木。

深度學習工具採用Python以開源程式碼開發前處理的GIS程式工具, 並以平行運算效率化。使用Tensorflow與Keras深度學習開發套件, 並且在Python Jupyter的編譯環境下, 已完成森林物件萃取標準化流程雛形之建立。深度學習的人工智慧模型建置之標的樣本, 分為訓練與測試之樣本, 其比例為7:3。

影像波段因子, 包括可見光影像中的紅光(Red)、綠光(Green)、藍光(Blue)、近紅外光(NIR)、常態化差值植生指標(NDVI)。

地形因子特徵, 包括海拔高(Elevation)、坡度(Slope)、坡向(Aspect)、粗糙度(Roughness)、地形位置指數(TPI)、地形堅固指數(TRI)。

模型精確度評估的方法, 以使用者精度(User's Accuracy · UA)、生產者精度(Producer's Accuracy · PA)、整體精度(Overall Accuracy · OA)、平均精度(Average Accuracy)與Kappa指標做為評估依據。

結論

- 森林物種組成與分布地圖, 對於生物多樣性、碳管理和其他林業應用是不可缺少的關鍵資訊, 機器學習的方法是未來自動化分類的重要關鍵。
- 本研究透過718幅DMC數位影像, 以影像波段因子特徵與地形因子特徵, 進行共3000個樹種樣本進行辨識, 結果顯示, 並且整體準確率可達65.3%、Kappa值為0.618。
- 台灣的植群組成複雜, 就本研究所針對闊葉樹與針葉樹種的分類成果, 仍有可以改進的空間, 為了確保未來訓練成果的正確性, 誤判的結果亦將透過專業農航判釋人員判別, 建立更精確的訓練樣本。

二、110 年森林資源永續發展研討會

(一) 投稿摘要

應用機器學習方法於航測影像之樹種分類研究

鄭錦桐^{1*}, 王選仲¹, 吳笙緯¹, 王禹翔¹, 吳淑華², 鄧國楨², 黃宗仁²

¹興創知能股份有限公司, 台北市中正區思源街 18 號(卓越研究大樓 301 室)

²行政院農業委員會林務局農林航空測量所, 台北市中正區和平西路二段 100 號

*通訊作者, ctcheng@thinktronltd.com

摘要

林務局農林航空測量所為負責我國航遙測圖資蒐集與產製之政府單位，除連年以先進數位航攝相機進行航空影像之拍攝外，亦提供森林資源調查與檢訂作業所需之中尺度森林覆蓋型航測資訊。現行森林覆蓋型判釋圈繪作業，需倚賴大量人力及作業時間。本研究運用近年蓬勃發展之機器學習相關技術，發展自動圈繪判釋森林樹種與森林覆蓋型之技術，降低人為主觀判釋之差異，及森林資源調查之成本。本研究以第四次森林資源檢訂調查為森林樹種樣本基礎，範圍涵蓋 2,133 幅 DMC 影像，採用卷積神經網路(CNN)與深度神經網路(DNN)混合模型，成功訓練出可自動辨識森林樹種與覆蓋型之人工智慧模型，此模型所採用之輸入因子共 16 項，包括：使用影像 4 個波段包含紅光(Red)、綠光(Green)、藍光(Blue)、近紅外光(Near Infrared, NIR)；5 種光譜指標包含 NDVI、SAVI、AVRI、ExGI、GCC、GLI；以及 6 個地文因子包含 DEM、Slope、Aspect、Roughness、TPI、TRI。本研究已針對台灣重要森林覆蓋型之針葉林種 9 種，冷杉、鐵杉、檜木(紅檜、扁柏)、台灣杉、杉木(巒大杉、杉木等)、臺灣肖楠、柳杉、松樹(二葉松、五葉松等)與其他針；闊葉林種 8 種，相思樹、大葉桃花心木、臺灣赤楊、銀合歡、光臘樹、臺灣檫、木油桐與其他闊；竹類 2 種，叢生狀竹與單桿狀竹，以上共 19 類樹種進行辨識。研究結果顯示，19 類樹種辨識之整體準確率高達 73%，Kappa 值為 0.7。本研究利用機器學習方法以 DMC 航攝影像資料，已訓練完成自動判釋森林覆蓋型之人工智慧模式，可輔助人工判釋作業之參考，以降低人為主觀判釋之差異及森林資源調查之成本。

(二) 投稿海報

110年森林資源永續發展研討會 海報林學教研組 31

應用機器學習方法於航測影像之樹種分類研究

Tree Species Classification by Machine Learning on Aerial Photos

鄭錦桐¹ 王遠仲¹ 吳錫輝¹ 王萬翔¹ 吳淑華² 鄧國棟² 黃宗仁²
¹興創知能股份有限公司 ²行政院農業委員會林務局森林航空測量所
 聯絡資訊: ctcheng@thinktronltd.com

摘要

林務局森林航空測量所為負責我國航測同質雲朵與產製之政府單位，除連年以先進數位航攝相機進行航空影像之拍攝外，亦提供森林資源調查與檢訂作業所需之中尺度森林覆蓋型航測資訊。現行森林覆蓋型判釋圖繪作業，需倚賴大量人力及作業時間。本研究運用近年蓬勃發展之機器學習相關技術，發展自動圖繪判釋森林樹種與森林覆蓋型之技術，降低人為主觀判釋之差異，及森林資源調查之成本。本研究以第四次森林資源檢訂調查為森林樹種樣本基礎，範圍涵蓋2,133幅DMC影像，採用卷積神經網路(CNN)與深度神經網路(DNN)混合模型，成功訓練出可自動辨識森林樹種與覆蓋型之人工智慧模型。此模型所採用之輸入因子共16項，包括：使用影像4個波段包含紅光(Red)、綠光(Green)、藍光(Blue)、近紅外光(Near Infrared)；6種光譜指標包含NDVI、SAVI、AVRI、ExGI、GCC、GLI；以及6個地文因子包含DEM、Slope、Aspect、Roughness、TPI、TRI。本研究已針對台灣重要森林覆蓋型之針葉林9種、冷杉、鐵杉、檜木(紅檜、扁柏)、台灣杉、杉木(樟大杉、杉木等)、臺灣赤楊、柳杉、松樹(二葉松、五葉松)與其他針；闊葉林8種、相思樹、大葉桃花心木、臺灣赤楊、銀合歡、光臘樹、臺灣柳、木油桐與其他闊；竹類2種、叢生狀竹與單桿狀竹。以上共19類樹種進行辨識。研究結果顯示，19類樹種辨識之整體準確率達73%，Kappa值為0.7。本研究利用機器學習方法以DMC航測影像資料，已訓練完成自動判釋森林覆蓋型之人工智慧模式，可輔助人工判釋作業之參考，以降低人為主觀判釋之差異及森林資源調查之成本。

訓練樣本案例

專家訓練輔助流程

機器學習模型訓練流程

模型部署與預測流程

1. 資料蒐集

- 2,133幅DMC航攝影像
- 第四次森林資源調查檢訂調查成果
- 全台20米解析度DEM

2. 地文因子產製

- 利用TronGisPy產製地文因子
- Aspect、Roughness、Slope、TPI、TRI

3. 光譜組合因子產製

- 組合DMC影像的光譜波段產製因子
- NDVI、SAVI、AVRI、ExGI、GCC、GLI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): $\frac{Red - Blue}{Red + Blue}$ Turbitt (1995)

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI): $\frac{Red - Blue}{Red + Blue + 1}$ Huete (1998)

Atmospheric Reflection Vegetation Index (ARVI): $\frac{Red - Blue}{Red + Blue + 0.5}$ Kaufman and Tanre (1990)

Excess Green Index (ExGI): $2 * Green - (Blue + Red)$ Lermaga and Auzanet (2019)

Green Chromatic Coordinate (GCC): $\frac{Green}{\sqrt{Red^2 + Blue^2}}$ Savenkov et al. (2013)

Green Leaf Index (GLI): $\frac{2 * Green - (Red + Blue)}{2 * Green + (Red + Blue)}$ Lermaga et al. (2020)

Red: 紅光波段反射率; Green: 綠光波段反射率; Blue: 藍光波段反射率; SAVI的L為小修正土壤反射修正參數，一般設定為0.5

4. 模型資料前處理

- 影像切片(512 x 512 pixel)
- 資料增強(縮放、旋轉、遮罩)
- 分割資料集(7成訓練3成測試)

5. 模型架構設計

- 3層卷積層、4x4池化層
- CNN+DNN架構
- 16個因子與19類分類結果

森林物件萃取標準化流程架構

6. 模型訓練成果評估

- 視覺化模型訓練過程與各因子貢獻程度
- 各因子對分類模型之貢獻程度

樹種	Red	Green	Blue	NDVI	SAVI	AVRI	ExGI	GCC	GLI	TPI	Slope	Aspect	Roughness	TRI
其他針	0.15	0.10	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01
冷杉	0.18	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02
鐵杉	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
檜木	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
台灣杉	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
杉木	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
樟大杉	0.18	0.13	0.07	0.15	0.11	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
杉木等	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
臺灣赤楊	0.15	0.10	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
柳杉	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
松樹	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
二葉松	0.18	0.13	0.07	0.15	0.11	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
五葉松	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
其他針	0.15	0.10	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
闊葉林	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
鐵杉	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
檜木	0.18	0.13	0.07	0.15	0.11	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
紅檜	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
扁柏	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
台灣杉	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
杉木	0.18	0.13	0.07	0.15	0.11	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
樟大杉	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
杉木等	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
臺灣赤楊	0.15	0.10	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
光臘樹	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
臺灣柳	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
木油桐	0.16	0.11	0.05	0.13	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01
叢生狀竹	0.17	0.12	0.06	0.14	0.10	0.04	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
單桿狀竹	0.18	0.13	0.07	0.15	0.11	0.05	0.03	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
其他針	0.15	0.10	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01

附錄二、審查意見回覆情形

一、期初意見回覆

意見說明	回覆情形
邱委員式鴻	
<p>工作項目以 AI 修正林型圖框之目的 是什麼？如是為了更精準的找尋訓練 樣區影像進行機器學習，此偏向另一 學術研究，該工作項目比重過重且費 工。是否考量人工方式編修即可？</p>	<p>感謝委員建議。有關圖框修正之工作 項目，會再經過幾個案例測試後，依 改善情形及所需時間、運算效能等因 素，進行評估實際減少研究投入，以 確實朝可操作工具之目標進行開發。</p>
<p>簡報第 28 至 29 頁提到之優先採用 FPN，其原因為何？應補充於工作計 畫書中。</p>	<p>感謝委員提醒。針對 IPCC 第二層林型 分類，為了避免航拍影像解析度過高 之判釋誤差，以特徵金字塔網絡(FPN) 建立多解析度影像判釋能力之模型。 FPN 的發展包含了簡報內另外三項的 優點，在特徵萃取的過程中，更能夠 分辨多尺度的特徵差異，是現行 CNN 模型中最常被使用的架構。相關內容 說明亦補充於工作計畫書 3-3-2 節。</p>
<p>物候特徵因子該如何導入？要再詳細 說明。</p>	<p>感謝委員提醒。針對物候特徵的導入 分為兩個部分，第一，透過增加同地 點不同時期的航攝影像，來提升物候 涵蓋時間；第二，將蒐集長時間(至少 一年)的氣象空間年統計資料(溫度、 降雨)，作為 CNN 模型中的一項訓練 因子。</p>
<p>有關需求規範僅針對國內高速運算資 源進行評估，並不需要多比較其他國 外的相關資源。應多敘述與國內國網 中心接洽情形及後續合作事宜。</p>	<p>感謝委員指教。考量到目前的模型規 模與工作需求，現階段主要以本地端 資源為主，本年度計畫亦將積極接洽 國網中心，確認可用運算資源與儲存 方案，現已針對相關收費資訊整理於 工作計畫書 3-2-1 節。</p>
<p>應與所方相關操作人員進行訪談相關 工作項目，充分了解目前作業上之方 式及流程，再行開發系統才能符合實 際上之需求。</p>	<p>感謝委員指教。目前已完成與農航所 所內技術作業人員的討論，詳細了解 作業流程，實務需求，以及可能輔助 的手段。在未來的模型運作規畫中， 擬產出經過格狀判釋分類標示的同尺 寸航攝影像，供作業人員使用既有軟 體開啟，輔助數化過程，相關規畫說 明已補充於工作計畫書 3-4-2 節。</p>

意見說明	回覆情形
<p>目前所研究之航攝影像以 DMC，未使用 ADS 及無人機拍攝影像原因為何？</p>	<p>感謝委員指教。考慮到模型設計的複雜度，現階段的訓練規畫仍以 DMC 影像為主，而局內 ADS 數位影像檔，或無人機拍攝影像，只要能輸出影像檔都可以直接放入 CNN 模型做分類預測得產出，今年度(110 年)計畫也將嘗試取得少許不同類型的影像進行產出之測試。</p>
<p>謝委員嘉聲</p>	
<p>第 6 頁工作架構無法對應表 2-1，請審視再修正內容。</p>	<p>感謝委員指教，已依意見修正。</p>
<p>修正圖框的研究方法有二，惟工作內容恐會占用過多時間，為耽誤後續研究及系統開發等工作期程的可能，請評估該項工作比重。</p>	<p>感謝委員建議。有關圖框修正之工作項目，會再經過幾個案例測試後，依改善情形及所需時間、運算效能等因素，進行評估實際減少研究投入，以確實朝可操作工具之目標進行開發。</p>
<p>林型圖造成偏移之原因不僅只因為樹高所影響，亦會有航高、其他參數、投影幾何中心等之影響，而只歸諸於 DEM 與 DSM 的差異而進行修正，如此方式應仍無法消除該偏移之情形（就河道、裸露地亦有偏移，該處應非樹高所造成）。</p>	<p>感謝委員建議。有關 DEM 與 DSM 修正之工作項目，會再經過幾個案例測試後，依改善情形及所需時間、運算效能等因素，進行評估實際減少研究投入，以確實朝可操作工具之目標進行開發。</p>
<p>產製的 DSM 會花費許多工作量，且匹配的點多數在裸露地、都市區域，而在森林地區匹配點數較少，其產製 DSM 在森林地區會有較大誤差，後續改正林型圖框會產生更多問題需要解決。</p>	<p>感謝委員建議。有關 DEM 與 DSM 修正之工作項目，會再經過幾個案例測試後，依改善情形及所需時間、運算效能等因素，進行評估實際減少研究投入，以確實朝可操作工具之目標進行開發。</p>
<p>CNN 優化模型深化層級的做法是什麼？還是樣本提升或參數修正？這部分應多加探討並說明。</p>	<p>感謝委員提醒。在 CNN 模型優化的規畫中，主要針對 IPCC 第二層林型分類，避免航拍影像解析度過高之判釋誤差，選擇加入特徵金字塔網絡(FPN)調整模型架構，並重新進行訓練、調參與評價的過程，相關規畫說明已補充於工作計畫書 3-3-2 節。</p>
<p>今年度(110 年)增加 1000 幅航攝影像進行相關處理研究，所增加之工作量會相當龐大，工作進度應掌握。</p>	<p>感謝委員提醒。在既有的影像前處理流程，相關平行化運算工具均可重複套用、批次處理，應可大幅降低分析時間，後續對於工作量與開發進度之掌握亦會更加注意。</p>
<p>蔡委員展榮</p>	

意見說明	回覆情形
第 7 頁有關投稿於中華林學會季刊，這邊係已投稿？抑或已決定？	感謝委員提醒。目前規畫將會從森林資源永續發展研討會、TGIS 臺灣地理資訊學會年會暨學術研討會，或森林資源保存與利用研討會，三個擇一投稿，原工作計畫書撰寫有誤，已完成修正。
圖 3-2 及 3-3 建議可補充影像覆蓋圖，以俾觀察哪一區有最完整資料。	感謝委員建議，相關說明已補充於工作計畫書 3-1-1 節。
中文對照宜適當和統一：例如第 24 頁地形 Topographic、Terrain 等...	感謝委員指教，經確認去年成果報告書應為誤植，今年內文才是正確資訊。
第 25 頁圖 3-7 DTM-Digital Terrain Relief Model，建議刪除 Relief。	感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。
第 26 頁圖 3-8 建議 TPI 及 TRI 也標示其度量衡單位(m)。	感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有遺漏之處，已完成修正。
第 27 頁圖 3-9 及第 48 頁內容，該如何進行「模型評價」？所判定之「通過評價」之門檻標準為何？	感謝委員指教。今年度(110 年)計畫仍以影像分類為主要工作項，因此仍以整體精度、誤差矩陣與 kappa 值作為最終衡量標準。在門檻設定部分，由於本年度之目的為協助驗證判釋，並非全自動化判釋，因此以優於去年計畫成果為原則設定門檻。
<p>貴研究團隊仍欠缺航測背景之專業人員，以致有下列問題：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 第 30 頁：航攝影像對彼此的旋轉與放大縮小比例甚小。 (2) 第 31 頁：得到點雲資料，並轉化成 DSM，卻未考量應進行偵錯、剔錯。且須注意內插產製 DSM 的方法（斷線、結構線之處理等等）。 (3) 第 29 頁：Tie Point 是連結點，並非是共軛點。 (4) 第 31 頁：半全域比對 (Semi-Global Matching)，該 Matching 應該稱為匹配。 (5) 第 28 頁：「航攝影像反投影偏差校正」應改成改正。 (6) 第 30 頁：SIFT 到 ORB 到第 31 頁 SGM，擬使用何種 	<p>感謝委員指教，以下針對各項問題逐一回覆。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 此處指的彼此為同一航帶下的航照影像之間，前後影像對的旋轉與放大縮小比例甚小，敘述不洽當的部分已修正。 (2) 有關 DSM 產製思慮不周之處，會再多加注意，後續會再經過幾個案例測試後，依所需時間、運算效能等因素，進行評估實際減少研究投入，以確實朝可操作工具之目標進行開發。 (3) 原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。 (4) 原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。 (5) 原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。 (6) 本計畫目前主要以 OpenCV 進行開發，未來不排除規畫以串接套

意見說明	回覆情形
<p>軟體執行 SGM? 且如何進行成果偵/別錯?</p> <p>(7) 第 28 至 35 頁: 進行影像匹配前後重疊度為多少? 是使用 2 張還是多張影像來產製 DSM 及正射影像。</p> <p>(8) 第 30 至 32 頁: 核線幾何及核幾何之區別?</p> <p>(9) 第 30 頁: 影像矯正 (rectification) 應改成影像糾正。</p> <p>(10) 第 33 頁: 圖 3-16 Dispairty 的 scale bar 單位為何? 宜標示出來。</p> <p>(11) 第 34 頁: 如何產製此處所謂之「正射影像」? 控制點種類、數量及分布為何?</p>	<p>裝軟體(如 metashape)之方式運作模型。</p> <p>(7) 經確認目前影像匹配重疊度超過 70%, 由於使用的是同一個航帶的影像, 僅選擇航帶上的前後 2 張影像來產製 DSM。</p> <p>(8) 原工作計畫書撰寫有誤之處, 已修正為核幾何。</p> <p>(9) 原工作計畫書撰寫有誤之處, 已完成修正。</p> <p>(10) 原工作計畫書撰寫有遺漏之處, 已完成修正。</p> <p>(11) 此處指的「正射影像」是農航所的正射影像產品, 並非本計畫所產製, 敘述有誤之處已完成修正。</p>
<p>引用文獻沒有列在文獻清單內, 例如: 第 30、32、52、56、58 頁。另第 30 頁有錯字、可刪除累贅字/詞, 如第 32 頁 (參照工作計畫書標註)</p>	<p>感謝委員指教, 原工作計畫書撰寫有誤之處, 已完成修正。</p>
<p>第 33 頁圖 3-16 所謂「透過 SGM 計算視差」, SGM 之用途只有計算視差嗎?</p>	<p>感謝委員指教, 目前僅規畫使用 SGM 中視差計算功能。</p>
<p>使用「雲端計算」宜思考如何做好資安及保密, 以符合附錄一保密同意書之用意。</p>	<p>感謝委員提醒, 高解析度航攝影像為國家重要資產, 針對雲端運算服務的研析, 主要用意在於比較國內外服務規格是否有所差異, 並特別深入了解國內(國網中心)服務規格價金作為硬體部署之參考, 未來服務設計都必須在資安要求與保密原則下進行。</p>
<p>從統計學上 QA 與 QC 有何不同? 請補充說明之。</p>	<p>感謝委員指教, 工作計畫書提及的 QA/QC, 主要是引用軟體開發中的詞彙描述, 依照 ISO 9000 之定義, QA (Quality Assurance) 的定義為「為了提供實體滿足品質要求的足夠信心, 而實作的所有計畫性以及系統性的活動」; QC(Quality Control) 之定義則為「為達品質要求而採用的作業性技術及活動」。</p>
<p>第 53 頁表 3-9:</p> <p>(1) ρ_{nir}: 近紅外光波段反射率重複, 卻少了 ρ_{red}。</p>	<p>感謝委員指教, 原工作計畫書撰寫有誤之處, 已完成修正。</p>

意見說明	回覆情形
<p>(2) EVI 中的參數 $L^*=1, \dots, \text{and } G=2.5$，而上述公式並無 G 參數。</p> <p>(3) C_1、C_2 之數字應修正為下標 C_1、C_2。</p> <p>(4) AVRI 和 ExGI 文獻不是 (et al.)，而是 2 位作者。</p>	
<p>查 8 篇文獻未被引用，且格式有不一致情形，請重新審視並統一格式。</p>	<p>感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。</p>
<p>年月日及起訖日期撰寫格式應統一。</p>	<p>感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。</p>
<p>葉委員堃生</p>	
<p>農航所之後會有 DMC3 進行航拍作業，以及委外採購之 UltraCam 等航攝影像，所以這些多元航攝影像要加以思考納入所建置系統可順利運行。</p>	<p>感謝委員指教。考慮到模型設計的複雜度，現階段的訓練規畫仍以 DMC 影像為主，而局內 ADS 數位影像檔、無人機拍攝影像、UltraCam 或未來的 DMC3，只要能輸出影像檔都可以直接放入 CNN 模型做分類預測得產出，今年度(110 年)計畫也將嘗試取得少許不同類型的影像進行產出之測試。</p>
<p>第 11 頁實作資料蒐集，前兩段敘述內容較與本案使用影像無關，建議可以精簡。</p>	<p>感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有不相關之處，已完成修正。</p>
<p>評估高速運算資源部分，建議補充租用國網中心的租用價格、使用方式等，以俾農航所了解及評估後續使用可行性。</p>	<p>感謝委員提醒，針對雲端運算服務的研析，主要用意在於比較國內外服務規格是否有所差異，並特別深入了解國內(國網中心)服務規格價金作為硬體部署之參考，相關說明已補充於工作計畫書 3-2-1 節。</p>
<p>第 65 頁最後一行最後一個字「已」誤繕造成語意有誤、第 73 頁第 5 行.....森林暨自「禪」資源.....誤繕，請修正。</p>	<p>感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。</p>
<p>林委員科言</p>	
<p>第 79 頁第陸章、預期成果應說明本年度應達成的預期成果，而非表 6-1 繳交資料等內容，請依照研究預期會達成的成果條列式說明之。</p>	<p>感謝委員指教，表 6-1 之預期成果為契約工項之內容，詳細產出已詳列於表 2-1。</p>
<p>蘇院長指示恆春半島移除外來入侵種銀合歡，研究團隊如有能量，除去年 11 種樹種外，考量納入銀合歡樹種進行機器學習。</p>	<p>感謝委員建議，有關新樹種的納入，將在取得標記影像後，評估納入現行的 CNN 樹種判釋模型。</p>
<p>吳所長淑華</p>	

意見說明	回覆情形
爾後繳交之報告書請承辦課先行審視，如仍有多處文字謬誤、文獻引用等問題，請退回團隊重新修正。	感謝委員指教，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正，未來會更加注意並仔細檢查。
本研究為 3 年期計畫，希望最終之研究成果能於實務上執行，而預測結果框選特定樹種位置並提供檢核，並非本研究預期的目標；如自動化無法萃取出精準定位的林型圖資訊，是否考量改繪製出網格式林型圖資及計算林型組成所占比例，提供操作人員有所參考，有助於減少人工主觀判斷上造成不一致情事。	感謝委員指教。目前已完成與農航所所內技術作業人員的討論，詳細了解作業流程，實務需求，以及可能輔助的手段。在未來的模型運作規畫中，擬產出經過格狀判釋分類標示的同尺寸航攝影像，供作業人員使用既有軟體開，啟輔助數化過程，相關規畫說明已補充於工作計畫書 3-4-2 節。
增加的特徵因子要以實務上農航所後續可以取得的圖資，而非另外產製或難以取得的資訊增加執行上的負擔；且這些特徵因子是否真的與森林有關，這邊請團隊要多加考量之。	感謝委員指教，本計畫所訓練之模型所使用之訓練特徵，皆以農航所現在或未來可直接取得，不需負擔額外成本之參數資料為主。
評估高速運算資源，於工作計畫書及簡報皆無看到接洽國內國網中心的情形，這部分建議團隊應考量以國網中心高速運算資源提升執行效率。	感謝委員提醒，針對雲端運算服務的研析，主要用意在於比較國內外服務規格是否有所差異，後續將持續深入了解國內(國網中心)服務規格價金作為硬體部署之參考，相關說明已補充於工作計畫書 3-2-1 節。
今年計畫預計挑選航攝影像 1000 張之依據是要全台各處挑選嗎？建議由確定的地真資料來挑選其他年度的影像才不致重蹈去年的問題。	感謝委員提醒，今年度(110 年)預計取得的航攝影像，將延續去年影像蒐集的成果，以及最新的檢訂調查成果，盡可能的在相同的位置上挑選不同時期的影像，增加樣本的同時，可一併提升物候資訊之萃取。
黃技士宗仁	
依契約需求規範應需 6 小時以上之教育訓練，而工作計畫書第 71 頁表 3-11 教育訓練初步課程規劃之時數不足 6 小時，請調整內容以符合規定。	感謝承辦人原提醒，原工作計畫書撰寫有誤之處，已完成修正。

二、期初意見再回覆

意見說明	回覆情形
<p>邱委員式鴻</p> <p>個人還是建議用人工方式修正反投影之林型框即可，因為要確保訓練資料無誤過程中，已經人工逐一檢視，何不此檢視過程就修正林型框；團隊耗時去產製 DSM，反投影回去之林型框，再用 AI 邊緣線萃取去自動修正，一定正確嗎？既然反投影回原始影像之林型框，本來就是會多少會有偏差；而自動化方式又不保證正確，何不就以人工修正方式確保林型框正確無誤即可？</p>	<p>感謝委員指教，修正林型框之規劃是為了使訓練資料更為精準，然而幾經測試反投影過程，仍包含許多複雜的誤差來源，歷經委員建議並與農航所深入討論後，將回歸計畫主軸，著重於航攝影像之林型判釋。林型框之修正，則選擇延續去年的林型圖框內縮範圍方法，以避免投入過多成本產製 DSM。</p>
<p>紋理，如灰度共生矩陣，個人一直認為應該如團隊想要新增近紅外光的植生指標包含 RVI、SAVI、AVRI、EVI，以及使用可見光波段的指標 VARI、ExGI、GCC、GLI 與 vNDVI 等方式加入訓練資料中進行訓練，團隊認為 CNN 即會自動萃取紋理指標，個人還是相當存疑！因為若依照團隊解釋，CNN 也可以自動萃取 NDVI、RVI 等指標囉？實際上，還是要先計算這些指標輸入，同理，影像之灰度共生矩陣，應該也是要計算當成指標輸入。</p>	<p>感謝委員指教，實際上灰度共生矩陣若 δ(方向)與 d(距離)可以定義得好，將與 CNN 具有完全相同的效果，只是 CNN 可以透過反向傳播法對正確答案進行學習，將特定的紋理特徵學習起來，且針對各方向與各距離的特徵都進行學習，這也就是為什麼目前比較高階的演算法，人、車、貓或狗這樣多方向且廣域(跨多個像素)的特徵可以被 CNN 學習起來；而 NDVI、RVI 等屬於光譜組合指標，是跨不同光譜組合出的資訊，並非紋理資訊。</p> <p>不過，DEM 萃取出各項指標確實是紋理資訊，放入模型內的主要考量是，其有相應的理論背景支持，如不同坡向可能影響到光照的時間，並進一步影響到植物物種的生長，這種很明確有相應理論支持並且有關聯性的因素，如果作為輸入特徵，將可加速網路的學習，不用讓模型再透過反向傳播法逐步尋找參數。</p>
<p>在高解析影像優化試驗一節中如何將 FPN 加入 CNN 中，應該要有一個架構圖，而非只是說明要加入。</p>	<p>感謝委員指教，已補充於 3-3-2 節。</p>
<p>第 19、20 頁文字對斷開，應合併。</p>	<p>感謝委員提醒，已修正。</p>
<p>第 37 頁提到增加正射影像強化模型準確度，在訓練中會用到正射影像嗎？</p>	<p>感謝委員指教，在修正本年度計畫內容後，正射影像已非必要，故以移除。</p>

意見說明	回覆情形
<p>第 63 頁中(一) 林型優先判釋方法 提到本(110)年度的模型在訓練參數上多了林型的資料，所以預期能夠更精準的分類出樹種。此次林型是指? 109 年林型圖反投影回去原始影像，將非對應之樹種影像像元塗黑，不就有林型資料了嗎?</p>	<p>感謝委員指教，在去年度計畫中，模型僅能分類特定 11 類樹種，但竹針闊林型底下的樹種不只這 11 類，所以僅能從特定樹種的分類結果回推，沒有訓練到的樹種則無法推得林型。因此在本年度計畫中，將會把林型包含的所有樹種都納入訓練資料，並將分類成果設定為針葉林、闊葉林、竹林及其他四種，以進行後續混淆林之研究。</p>
<p>第 70~71 頁的模型輔助方法中，原始航攝影像裁切成最小單元後，對每個單元獨立分類，不應該如圖 3-34 (計畫書中編號 3-344 有誤)，應該如圖 3-35 (計畫書中編號 3-355 有誤)。如圖 3-34 應是原已知林型標示之地真資料分成訓練和非訓練資料之後，由訓練資料訓練結果後非訓練資料所分類之結果。但若是如圖 3-35 結果，需編修人員將網格與林型圖疊圖觀察測繪真正之 2D 林型框，此舉將使得作業較耗時；若能將分成"其他"類之單元影像，採用如四分樹分割分類直到最小單元，然後將其同類合併之後，再自動產出林型框，編修人員若有需要再以人工方式調整"局部"林型框，應是較省時之作法。</p>	<p>感謝委員指教，圖號錯誤已更正。而在模型產出進行輔助的部分，由於實務上在編修檢訂調查資料時，基本上並不會調整既有圖框之位置，僅會新增邊界以新增圖框或改變原有圖框之屬性。</p> <p>經與農航所判釋作業人員的需求訪談後，本計畫之產出結果將如圖 3-35，其目的是為了讓判釋人員在判釋時能有依據，並使不同人員的判斷標準趨於一致，提升判釋時的效率，並非改善圈繪圖框的作業流程，再加上目前的資料精度尚不足使模型產製出良好的林型圖框。綜上所述，本計畫將以產製圖 3-35 的方式為主，輔助現行判釋作業流程。</p>
<p>第 85、86 頁文字對斷開，應合併。</p>	<p>感謝委員提醒，已修正。</p>
<p>在 3-4 小節中的實作界面之設計方案，應說明欲規劃那些功能。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫預期的實作界面，應包含影像檢視、分類成果回饋、模型更新等功能，但實際功能規劃仍需進一步與農航所進行深入訪談後再做更新。</p>
<p>謝委員嘉聲</p>	
<p>在航測影像反投影處理中仍存在偏差，此步驟的結果會影響物類的正確位置，建議研究團隊實際了解航測影像的成像原理與機制，以解決此問題。</p>	<p>感謝委員指教，團隊理解攝影測量原理與機制，在歷經委員建議並與農航所深入討論後，將回歸計畫主軸，著重於航攝影像之林型判釋。林型框之修正，則選擇延續去年的內縮方法，以避免投入過多成本產製正確的 DSM。</p>
<p>在 3-3-3 訓練樣本物候特性試驗中，提到將光譜資料加入樹種分類研究</p>	<p>感謝委員指教，光譜資料內容多於 3-3-1 小節所述。</p>

意見說明	回覆情形
<p>上，透過光譜資訊間接推得物種之氣候資訊，請具體說明光譜資料之內容？</p>	
<p>本年度增加混淆林之資料，計畫書針對混淆林亦有初步界定，統整於表 3-11 中，表 3-11 過於簡略，建議補充說明，以利了解混淆林之分類依據。</p>	<p>感謝委員建議，已補充於 3-4-1 節。</p>
<p>蔡委員展榮</p>	
<p>似乎僅修正委員舉例的待修正處，而其他前後文各處卻未一併做對應的修改，例如 p.7 表 2-1 的 3-1 預期產出第 4 點「反投影偏差校正」<=“校正”？只改了 p.29 為「反投影偏差改正」而其他前後文卻沒做對應的修改。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫團隊會更仔細審視，以避免再出此紕漏。</p>
<p>p.29「航攝影像反投影偏差改正...為提升林型圖標記圖框之準確性，擬針對「訓練資料反投影」進行優化。...。為此，前一年(109年)的計畫中研究開發了反投影程式模組...完成影像對位後，仍存在空間對位偏移之問題」 p.30「需測試後方能知道反投影之改善效果」 => 這幾頁篇幅的敘述欠缺對影像方位元素和 DEM 等各項輸入數據和程式的正確性做一必要的檢查，也未注意林型圖的製作和其誤差性質，似乎都把全部的圖資和數據都當成真值來計算，不了解誤差的性質及其處理方法，以致於做了不少虛功，迄今似乎仍未解決反投影的老問題。</p>	<p>感謝委員指教，團隊理解攝影測量原理與機制，因此原先規劃修正林型框，係為了使訓練資料更為精準，然而幾經測試反投影過程，仍包含許多複雜的誤差來源。在歷經委員建議並與農航所深入討論後，將回歸計畫主軸，著重於航攝影像之林型判釋。林型框之修正，則選擇延續去年的內縮方法，以避免投入過多成本產製 DSM，相關內文也已一併移除修正。</p>
<p>pp.30-35：從 p.30「數值地表模型產製...找到影像對中的核幾何後，重新對位影像對...先將左像固定住，調整右像的姿態參數，使左右兩張影像中的核線呈平行狀態」到 p.35 圖 3-17 的篇幅敘述<=仍然欠缺偵錯、剔錯處理，且求定核線、重新對位影像對...的處理程序增加誤差傳播和累積，僅由 2 張(重疊)影像來匹配求定對應的地面點三維位置坐標，一方面未敘明這 2 張影像必須具備的重疊率條件(p.155「期初意見處理情形」回覆</p>	<p>感謝委員指教，團隊理解攝影測量原理與機制，因此原先規劃修正林型框，係為了使訓練資料更為精準，然而幾經測試反投影過程，仍包含許多複雜的誤差來源。在歷經委員建議並與農航所深入討論後，將回歸計畫主軸，著重於航攝影像之林型 AI 判釋。林型框之修正，則選擇延續去年的內縮方法，以避免投入過多成本產製 DSM，相關內文也已一併移除修正。</p>

意見說明	回覆情形
<p>「僅選擇航帶上的前後 2 張影像(重疊度超過 70%)來產製 DSM」, 卻未在本文敘明), 另一方面也未考慮多張影像的 SGM 匹配, 無法填補 2 張影像(可能會出現)的遮蔽區和無法(成功)匹配區的資料破洞, 將導致成果的品質(精度和可靠度)和資料的完整性皆降低。</p>	
<p>p.155 「經確認目前影像匹配重疊度超過 70%...僅選擇航帶上的前後 2 張影像來產製 DSM」 <=如此將得到精度不佳、不可靠的對應地面點三維地面坐標。</p>	<p>感謝委員指教, 團隊理解攝影測量原理與機制, 因此原先規劃修正林型框, 係為了使訓練資料更為精準, 然而幾經測試反投影過程, 仍包含許多複雜的誤差來源。在歷經委員建議並與農航所深入討論後, 將回歸計畫主軸, 著重於航攝影像之林型 AI 判釋。林型框之修正, 則選擇延續去年的內縮方法, 以避免投入過多成本產製 DSM, 相關內文也已一併移除修正。</p>
<p>相關的回覆未載明於此工作計畫書中, 例如 p.155 「本計畫目前主要以 OpenCV 進行開發, 未來不排除規畫以串接套裝軟體(如 metashape)之方式運作模型。」</p>	<p>感謝委員指教, 在歷經委員建議並與農航所深入討論後, 將回歸計畫主軸, 著重於航攝影像之林型 AI 判釋。林型框之修正, 則選擇延續去年的內縮方法, 以避免投入過多成本產製 DSM, 相關內文也已一併移除修正。</p>
<p>p.13 圖 3-2 及 p.14 圖 3-3: 背景臺灣地圖以濃黑色來呈現, 不恰當。</p>	<p>感謝委員建議, 已修正。</p>
<p>p.34 圖 3-16 標示的 SGM 計算得到的視差灰階 scale bar 單位為公尺, 與一般攝影測量計算機視覺的視差定義不同, 請確認和訂正。</p>	<p>感謝委員指教, 在歷經委員建議並與農航所深入討論後, 將回歸計畫主軸, 著重於航攝影像之林型 AI 判釋。林型框之修正, 則選擇延續去年的內縮方法, 以避免投入過多成本產製 DSM, 相關內文也已一併移除修正。</p>
<p>林委員 吳宇</p>	
<p>圖 3-1 的 718 幅航攝影像, 是否均屬於 109 年度分析的 11 個目標樹種之分佈區域呢? 又是否僅從這 718 幅影像內抽取資料區分為訓練組與驗證組後, 作為建立機器學習模型、以及進行預測精度驗證的材料呢? 若是, 則恐怕會有以下盲點: 1. 就我閱讀報告後的理解, 前期計畫係就影像與地文特徵建構樹種</p>	<p>感謝委員指教, 去年計畫之模型設計, 其一是測試機器學習對樹種分類之可行性, 其二是由於這幾類樹種的樣本數較多, 較可能被訓練出來, 若樣本數太少, 會無法正確學習到該類別的特徵, 故模型分類成果僅包含 11 類樹種, 而在今年的規畫中, 將於既有架構下擴充分類模型, 除納入更多類樹種以完善對林型之判釋, 亦會加</p>

意見說明	回覆情形
<p>判釋模型，而後可針對輸入的影像資料特徵，在 11 個樹種類別裡挑出最接近的 1 類作為預測結果，驗證後得到準確率 65.3% 的結論。然而，若將此模型應用在未經訓練的森林樹種，例如以槭櫟類、槭楠類、水青岡或草地等型態，模型的預測行為將會如何反應？仍是 11 選 1 嗎？或是模型有能力提供一個「以上皆非」的預測結果？</p> <p>2. 臺灣的優勢森林類型中，主要樹種不止 11 種。我們雖然無法對所有的森林優勢樹種一一建構自動判釋模型，但至少應讓現有模型具備判定是訓練樣本中的哪一個樹種、以及能夠在某閾值以下給出「以上皆非」的能力，較具有實務應用的價值。</p>	<p>上「以上皆非」的選項，提升實務應用的可能。</p>
<p>第 16、17、18 頁及圖 3-5 對於「永久樣區」名詞稱呼似有混雜。林務局 87 年至 91 年設置的是「森林永久樣區」，至於第四次全國森林資源調查設置者則稱為「森林資源調查地面樣區」。</p>	<p>感謝委員指教，已與農航所專業人員確認相關名詞並修正之。</p>
<p>本年度預定增加樣本物候特性試驗（第 58 頁），值得進行。就過去使用衛星光譜資料分析的經驗，確實發現高山針葉林（如冷杉、鐵山）具有 NDVI 數值年度內變異較小的特徵；而落葉林或演替早期的森林，其 NDVI 數值的年度內變異相對較大。若物候特徵研究有成，應當是進行森林樹種判釋的良好特徵。但同一地點航攝影像頻度能否達到建立物候特徵的需求，請廠商就農航所提供材料進行分析，於期中或期末階段提出可行性評估說明。</p>	<p>感謝委員建議，本計畫團隊會在期末階段提出較完整的可行性評估說明。</p>
<p>圖 3-30 樹種優先流程應屬可行。然而目前樹種判釋模型僅能得出 11 個種類，在應用上會否遭遇瓶頸？例如機器學習模型接獲槭楠類、槭櫟類等未經訓練的樹種航攝資料，能否準確判</p>	<p>感謝委員指教，本年度之模型將透過網格呈現分類成果，加上訓練資料仍有誤差，故現階段無法判釋出數的組成純度，僅能提供林型分類成果。</p>

意見說明	回覆情形
<p>釋出樹種的組成純度？</p> <p>圖 3-35 設計的 grid-based 輔助方法，除非預測網格的空間解析度極高（例如 1 公頃一下），否則在森林調查的可利用性值得懷疑。理由是：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 林型調查的目標是先找出均質林分的範圍（先框出 polygon），而後再判定該均質範圍的林型及主要樹種（賦予該 polygon 屬性值）。圖 3-35 係以粗網格方式提供該網格的預測林型供林業人員參考，仍然無法節省繪製邊界的作業時間；若繪製邊界後單一網格內有多個林分存在，則判釋人員仍須耗費時間逐一比對預測樹種究竟是哪一個林分。 2. 建議先做影像邊緣偵測（例如採用地形特徵、或是影像的邊緣特徵）劃定林分單元，而後再針對各個林分單元給出模型預測建議，較能簡化現有人工數化與判釋作業的流程。 3. 此外，建議每個林分單元的林型或樹種預測結果應附帶預測機率值（prob.），讓使用人員瞭解該自動判定的可信賴程度，並據以決定詳細人工判釋的投入程度。 	<p>回覆情形</p> <p>感謝委員指教，在模型產出進行輔助的部分，由於實務上在編修檢訂調查資料時，基本上並不會調整既有圖框之位置，僅會新增邊界(即分割圖框)或改變原有圖框之屬性。經與農航所判釋作業人員的需求訪談後，本計畫之產出結果將如圖 3-35，其目的是為了讓判釋人員在判釋時能有依據，並使不同人員的判斷標準趨於一致，提升判釋時的效率，並非節省繪製邊界的作業時間，再加上目前的資料精度尚不足使模型產製出良好的林型圖框。綜上所述，本計畫將以產製圖 3-35 的方式為主，產製的網格面積約為一公頃(256x256pixel)，且網格的屬性會包含預測的分類結果與預測機率，輔助現行判釋作業流程。</p>

三、期中意見回覆

意見說明	回覆情形
<p>邱委員式鴻</p>	
<p>第 28 至 31 頁提到將林型框原本高程參數從 TWD97 高程改至 TWD67 高程，高程系統除非是正高跟橢球高的問題，否則 TWD97 和 TWD67 是平面投影系標系統的平面坐標差異問題，請說明究竟是何問題？</p>	<p>感謝委員指教，林型框的坐標參數包含 TWD67 與 TWD97 兩種，其高程記錄欄位名稱為 TWD97 高程與 TWD67 高程，本團隊在一開始沒注意到 TWD97 欄位高程指的是橢球高，TWD67 欄位為正高，在平面和高程坐標上都選用 TWD97 欄位，導致反投影成果有相當的位移錯誤，經農航所內同仁告知後已改為 TWD67 欄位高程(即正高)。</p>
<p>第 35 頁表 3-5、3-6 與 3-4(混淆)誤差矩陣陳述不一致，表 3-5 應該不是正規的誤差矩陣，如何計算出來，單位為何？請說明。</p>	<p>感謝委員指教，表 3-5、3-6 是將數量換算成百分比後顯示，表上之數字為百分比，經委員建議後已補充並補上使用精度和生產者精度。</p>
<p>第 54 頁圖 3-24 與圖 3-34 特徵熱點地圖如何計算出來？請說明。</p>	<p>感謝委員指教，為了瞭解每個變數對於模型的最終貢獻，SHAP 套件會以測試資料為基礎，逐一測試每個變數對於最終預測果的貢獻。其方法為固定待測變數的數值後，調整其他變數的數值，測試待測變數對於模型預測結果的貢獻度，如果其他變數的調整對於預測結果影響不大，代表待測變數的貢獻度高，即對模型判釋結果的貢獻較大，反之亦然。</p>
<p>第 50 頁中機器學習效能提升方案中，第 55 頁(二)高解析度影像優化試驗加入 FPN 試驗後取消，其中 single feature map 與 pyramidal feature hierarchy 是否曾測試？此外，圖 3-26 模型建議於三、機器學習模型效能提升方案一開始說明所使用之模型，再說明提升方案之方法；由此衍生，是否可由模型內之架構或使用之函數改善效能？如卷積層層數、於卷積層方面，相關參數設定、甚至是激活函數的選擇等，以提升計算效率。</p>	<p>感謝委員指教，根據 Lin et al.(2017)的文獻指出，FPN 已經是四者中表現最優異的架構，若 FPN 表現不佳，使用另外三項也不會有好的表現。而模型卷積層層數、相關參數設定、激活函數選擇等都已於前期經過多次測試，目前架構為相對穩定且精度效率皆有一定水準，故今年度將目標著重於標記資料的正確性提升與多樣樹種判釋，並同時透過光譜組合、FPN、物候等試驗評估模型效能優化的可行性。</p>
<p>第 60 頁機器學習效能提升方案(三)訓練樣本物候特徵試驗中，提到「篩選</p>	<p>感謝委員指教，本計畫規劃於期末階段將訓練資料的測試資料集分成乾、</p>

意見說明	回覆情形
<p>後影像顯然還是無法全然涵蓋.....」、又說明「期末階段亦將持續針對所有候選影像進行物候特性分析.....」，如資料已不足之情形，期末該如何分析？</p>	<p>濕季兩種，分別餵入模型預測後比較其精度，分析物候對本計畫模型之影響。</p>
<p>第 64 頁提到「實際作業流程並不會對既有林型圖框進行挪移編修」，果真是如此？那圖 3-29 中為何有「土地覆蓋型圈繪」？</p>	<p>感謝委員指教，原則上在進行檢訂調查時，須對變化的部分進行挪移編修，然而在實際作業流程中，較少出現需要挪移編修林型圖框之情形，故本計畫假定不會編修來進行後續研究，此處已修正。</p>
<p>第 78 頁第一段提到「今年度(110 年)計畫為了增加訓練標的，選擇增加參數產製項目」其中參數是指？</p>	<p>感謝委員指教，此處參數為訓練模型的參數，本年度新增 5 項光譜組合指標作為模型參數，敘述不當已修正。</p>
<p>第 82 頁末段提到「透過檢索圖框範圍內涵蓋林型分布情形與佔比，提供作業人員查找比對，.....是否修正、圖框是否分割.....」，若需分割，仍需繪製？一來還是浪費時間；如之前意見，應再行影像邊緣線處理偵測，再設計編修工具由人工以半自動化方式調整；此意見，與第 110 頁林奐宇委員之期初意見相同，請慎重考慮。承上第 6 點第 64 頁提到「實際作業流程並不會對既有林型圖框進行挪移編修」，是指全台灣森林都有林型框資料？若有，應善用此資料協助模型判釋甚至是繪製修正林型框。</p>	<p>感謝委員指教，原則上在進行檢訂調查時，須對變化的部分進行挪移編修，然而在實際作業流程中，較少出現需要挪移編修林型圖框之情形，故本計畫假定不會編修來進行後續研究，此處已修正。</p>
<p>第 84 頁銀合歡判釋之訓練資料、影像等資料是否已先整理？</p>	<p>感謝委員指教，本計畫已於期中階段取得銀合歡相關影像與標記資料，將盡速整理以利後續使用。</p>
<p>謝委員嘉聲</p>	
<p>研究團隊有無進行評估本計畫所使用之相關軟體或自行撰寫程式？</p>	<p>感謝委員指教，軟體評估為前期計畫工項之一，考量到效率與客製化問題，本團隊最終採自行開發程式方法來完成本計畫。</p>
<p>本報告多以卷積神經網路 (CNN) 演算法進行研究，是否能加入其他機器學習演算法進行分析比較？</p>	<p>感謝委員指教，相關演算法評估已於前期(109)做過比較，考量到本計畫之目的，最終決定以 CNN 演算法進行研究。</p>
<p>反投影所使用之高程資料從 TWD97 高程改成 TWD67 高程之原因為何？報告應先說明兩者高程資料差異及改</p>	<p>感謝委員指教，林型框的坐標參數包含 TWD67 與 TWD97 兩種，其高程記錄欄位名稱為 TWD97 高程與 TWD67</p>

意見說明	回覆情形
採用 TWD67 高程之原因。	高程，本團隊在一開始沒注意到 TWD97 高程指的是橢球高，TWD67 為正高，在平面和高程坐標上都選用 TWD97，導致反投影成果有相當的位移錯誤，經農航所內同仁告知後已改為 TWD67 高程(即正高)。
應考量各期航攝影像之輻射校正問題，以俾後續進行森林物候變化。	感謝委員建議，相關需求會再納入討論評估，以俾本計畫後續擴展之應用。
第 9 頁表 2-2 實際進度表之工作項目應與計畫目標一致。	感謝委員指教，已修正。
研究團隊加入 FPN 後發現並無提升效能，是否不再考量其他的模式進行機器學習演算法效能提升？抑或後續再多考量其他演算法進行測試？	感謝委員指教，根據 Lin et al.(2017)的文獻指出，FPN 已經是四者中表現最優異的架構，若 FPN 表現不佳，使用另外三項也不會有好的表現，故不再測試其他模式。
加入 UAV 影像為不同尺度、解析度之影像，此圖資是否會影響原先以 DMC 航攝影像訓練的模型？	感謝委員指教，原報告內提及的 UAV 影像只作為測試資料，用以評估模型的使用彈性，經委員建議期末階段則優先以正射影像進行測試，若有餘力才在進行 UAV 影像的相關測試。
航攝影像分布不同的時間應有不同的分類機制，研究中皆以 CNN 演算法進行分類是否合適？	感謝委員指教，相關演算法評估已於前期做過比較，考量到本計畫之目標，已確定使用 CNN 演算法進行後續模型之主要架構。
第 24 頁 TRI 翻成地形堅固指數？請確認相關中文翻譯名詞是否恰當。	感謝委員指教，為維持報告用詞的一致性，此處之使用與前期相同之翻譯。
第 35、36 頁表 3-5 及 3-6 分為 109 年及 110 年樹種判釋誤差矩陣對照表，應增加混淆矩陣對照表才更清楚看出結果。	感謝委員建議，已修正。
第 51 頁引用之 Xu et al.(2020)及第 60 頁 Immitzer et al.(2019)並未列於參考文獻中，請補充之。	感謝委員指教，已修正。
蔡委員展榮	
請補充第 24 頁本計畫用來計算粗糙度的公式。	感謝委員建議，已修正。
教育訓練應考量所內同仁可接受及理解之程度，建議調整課程內容；另多處圖表說明過於簡略，亦須考慮讀者可理解情形，應多加些說明文字。	感謝委員指教，教育訓練會在期中後與農航所召開工作會議討論教學內容，而圖表說明不足之部分已補充於各章節。
提醒先要確定技術已成熟可用，有更	感謝委員建議，遵照辦裡。

意見說明	回覆情形
<p>多樣本測試驗證此技術可重複性，並符合國家相關的資安法規之要求和規定後，再來決定購買雲端物件儲存服務。</p>	
<p>第參章(例如第 12 頁表 3-1)：似乎是採用二維的航攝影像，而未考量立體影像。建議在需求訪談時再多了解判釋作業人員的實際作業情形，透過 2D or 3D images 進行樹種和林型相關判釋經驗之優劣。</p>	<p>感謝委員建議，為了更加貼近實際作業情形，早在前期(109)計畫才選定應用於立體影像對的 DMC 原始影像進行訓練，而非經過正射影像，後續本團隊將持續訪談了解，以確保成果應用符合作業需求。</p>
<p>第 36 頁表 3-6 誤差矩陣是否使用 2133 幅 DMC 影像(第 10 頁)來測試得到的成果？請補充說明。</p>	<p>感謝委員指教，表 3-6 中的資料為經切分後作為測試資料的影像切片，共 7888 張。</p>
<p>第 10 頁「……將以 UAV 與正射影像測試模型可用性」、「取用所內 UAV 無人機影像與正射影像進行測試」及第 90 頁「期末將以 UAV 與正射影像測試模型可用性」等處，考慮使用 UAV 影像是何種類型？是原始影像、正射影像或是真正射影像？請補充。</p>	<p>感謝委員指教，經委員建議後，今年度計畫著重於有人機 DMC 影像之應用，經委員建議期末階段則優先以既有的正射影像進行測試，若有餘力才在進行 UAV 影像的相關測試。</p>
<p>第 19 頁「透過純林的初步判釋來分選混淆林的林型組成」該語意模糊，如何來分選並未說明清楚。</p>	<p>感謝委員提醒，本計畫透過純林樹種與單一林型進行判釋，並產出對應 256x256 網格之判釋結果，每一個網格可根據判釋結果計算分屬的類別與比例，將參考現行作業上的比例原則作最後的林型分類。</p>
<p>第肆章相關的結語或決定或推論宜再慎思或尚待保留。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫將持續積極與所內討論達成共識，以立下嚴謹的正確論述。</p>
<p>第 15 頁圖 3-2 為例，此標示之 1e6 是否指的是 10^6？另經度(longitude)緯度(latitude)之單位不是 meter。第 15 頁圖 3-2、第 20 頁圖 3-5、第 25 頁圖 3-8 等，應是 TWD97 的縱橫坐標 E、N。</p>	<p>感謝委員指教，1e6 指的是 10^6，其餘相關錯誤已修正。</p>
<p>第 29 頁「將林型圖框原本的高程參數從 TWD97 高程改為 TWD67 高程…完成高程改正後同樣採用內縮圖框 25 公尺的方式，踢除模糊有誤差的圖框邊界，確保訓練資料的品質」，TWD67 與 97 應是平面坐標而非高程坐標。</p>	<p>感謝委員指教，此處 TWD67 與 97 高程，指的是林型框資料記錄高程的欄位名稱，即 TWD97 高程與 TWD67 高程，本團隊在一開始沒注意到 TWD97 高程指的是橢球高，TWD67 為正高，在平面和高程坐標上都選用 TWD97，導致反投影成果有相當的位移錯誤，經農航所內同仁告知後已改為 TWD67</p>

意見說明	回覆情形
<p>期中報告仍有多處疏漏謬誤之處，研究團隊須加強報告撰寫能力。以下臚列部分錯誤並請團隊須多加檢查報告文字圖表之內容及加請改正：</p> <p>(1) 期中報告引用了 100 篇文獻，則有幾篇文獻不在第 92 至 96 頁之參考文獻清單中？目前的參考文獻 36 篇文獻，又有幾篇未於期中報告引用？</p> <p>(2) 第 II 頁表目錄中表 3-5 至表 3-20，表編號有錯。</p> <p>(3) 第 37 頁表 3-7 「地文因子 7 項參數 DEM、Slope、Aspect、Roughness、TPI 與 TRI。」，應為 6 項。</p> <p>(4) 第 37 頁表 3-7 整體精度「73%」與第 33 頁「74%」，何者為真？</p> <p>(5) 相關錯字請修正，例如第 28 頁「延用」：沿、第 29 頁「踢除」：剔、第 39 頁「意味者與數據中心」：著、第 7 頁「近一步」：進、第 46 頁「有效解省人力」：節、第 88 頁「透過卷積網格」：路。</p> <p>(6) 撰寫格式不一致，如：第 93 頁文獻頁碼「295-309」、「663-66」；第 7 頁表 2-1 對應章節「(3-1)至(3-6)」、和第 8 頁圖 2-1「3-1 至 3-6」、「第參章一至六」；統一用西元年或民國年；應以本計畫名稱統一稱為航攝影像。</p> <p>(7) 第 22 頁圖 3-7 的永久/系統樣區的圖例符號不清楚。</p>	<p>高程(即正高)。</p> <p>(1) 感謝委員指教，已重新審視內文並將出處羅列於參考文獻一章。</p> <p>(2) 感謝委員指教，已修正。</p> <p>(3) 感謝委員指教，已修正。</p> <p>(4) 感謝委員指教，74%為誤植，實際數字為 73%，已修正。</p> <p>(5) 感謝委員指教，已修正。</p> <p>(6) 感謝委員指教，已修正。</p> <p>(7) 感謝委員指教，已修正。</p>
<p>應補充說明第 40 至 41 頁表 3-8 至表 3-10 及第 43 頁表 3-11、表 3-12 的資料項和英文簡稱之意義。</p>	<p>感謝委員建議，已修正。</p>
<p>第 16 頁中圖 3-3 綠色標示的圖幅數必須加上其下方的淺藍色(109 年度)的圖幅數才是全部的圖幅數，此統計圖易造成誤解，請修改呈現方式。</p>	<p>感謝委員建議，已修正。</p>
<p>林委員奐宇</p>	

意見說明	回覆情形
<p>第 18 頁提及「所謂檢訂調查，是基於……，在實際的編修作業上並不會變動林型的邊界，僅更新林型的屬性資料，使圖資能維持一定的準確性」。依據本人的業務經驗，檢訂調查時應參照造林台帳、現場樣區調查及最新航照影像等資訊，先依林區正射影像編繪判釋稿圖，再攜至野外進行調繪，而後繪製成圖。該圖資用以計算各林班、小班面積及森林資源現況，作為後續編定經營計畫之基礎資料。在檢訂過程中，森林覆蓋型及小班界線將依當時森林現況修正，而非固定不變。建請妥為修正此段文字內容。相關細節可參考邱祈榮教授所著「國有林檢訂調查制度之探討」文章。</p>	<p>感謝委員指教，原則上在進行檢訂調查時，須對變化的部分進行挪移編修，然而在實際作業流程中，較少出現需要挪移編修林型圖框之情形，故本計畫假定不會編修來進行後續研究，此處已修正。</p>
<p>第 21 頁第 2 段「在永久樣區係與全國森林資源調查之系統樣區進行整合並定期辦理複查」，此句語意不清，建議修正。</p>	<p>感謝委員建議，已修正。</p>
<p>第 36 頁誤差矩陣顯示本年度判釋模型整體準確率達 74%，相較前一年度準確度 65.3%而言，顯然有長足的進步。有關誤差矩陣及相關細節，建議如下：</p> <p>(1) 表 3-6 各數值均為樹種樣本數的百分比，閱讀不易。無從瞭解各樹種選取樣本數，以及獲得正確或錯誤判定的樣本數量情形；此外，根據本表格亦無法迅速得知各樹種的判定準確率。建議參考類似文獻的表格呈現方式（如 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2970210 Fig.4），以利閱讀。</p> <p>(2) 部分樹種看似樣本數量極少（如肖楠 0.1、大葉桃花心木 0.1、銀合歡 0.3），且模型均無法準確判釋出這 3 個樹種。請問訓練樣本與驗證樣本是否足夠？以銀合歡為例，其分布以恆春半島為主，但圖 3-2 呈現的影像材料分布，</p>	<p>(1) 感謝委員建議，圖 3-5、3-6 已根據委員意見調整格式。</p> <p>(2) 感謝委員提醒，圖 3-32 與 3-33 呈現的是測試資料集的數量，是根據訓練資料的各樣本的比例來篩出作統計，因此測試資料統計結果較少的樹種，在訓練上也相對不足。另針對銀合歡的類別，由於期中階段係以檢訂調查的林型圖作運用，尚未納入特定樹種獨立的調查資料，所以判釋結果較差，後續亦將新取得的圖框與影像納入模型進行更新。</p> <p>(3) 感謝委員建議，團隊了解影像拍攝時間分布不均勻支問題，因此本計畫規劃於期末階段將訓練資料的測試資料集分成乾、濕季兩種，分別餵入模型預測後比較其精度，分析物候對本計畫模型之影響，並評估納為參數之必要性。</p>

意見說明	回覆情形
<p>似未足以涵蓋銀合歡的分布區域，是否因為訓練樣本不足，導致機器學習模型對於銀合歡判釋能力的低落呢？</p> <p>(3) 機器學習模型使用的訓練資料與驗證資料，是否均來自於圖 3-3 的影像樣本，並且切分為獨立的訓練資料集與驗證資料集？由於圖 3-3 的時間涵蓋未盡均勻，例如影像樣本主要集中在 10 月至隔年 1 月。如採用相同來源樣本，切分為訓練資料與驗證資料，分別進行建模與與驗證時，理論上會獲得較佳的準確率；然而，當此一模型套用至取樣範圍以外的新樣本時（例如使用本計畫模型判釋 4 月至 10 月的 DMC 影像，又或用來判釋是 ADS40 或 UAV 的航攝影像等），則較難掌握模型的預測表現。本模型若未來要納入實務應用，建議在訓練與驗證階段即應廣納不同季節影像，提高模型對於不同來源資料的學習程度與適應能力，亦可獲得符合實際應用情境的準確率評估結果。</p>	
<p>第 69 頁及表 3-16 顯示，如以較高層級的「針葉林」、「闊葉林」、「竹林」進行判釋區分，則模型整體經度可達 88%，顯示在純林林型判釋的高度可用性。林務局森林資源調查採用的土地覆蓋型分類體系，係依據 IPCC 分類系統而來，按階層式：第一層（林地、農田、草地、濕地、定居地、其他）；第二層（林地再分針葉樹林型、闊葉樹林型...等 8 類）進行區分。本計畫產製之模型是在第一層的「林地」類別下，對不同森林型進行第二層區分。森林資源調查未來若以自動化輔助與縮短人工判釋為目標，在開發本計畫模型的同時，是否亦需同步建立篩選符合第一層「林地」分類的自動化方法？亦即透過某些分類</p>	<p>感謝委員建議，考量到本計畫之工作範疇、實際林型編修工作之需求，以及模型訓練與判釋之效率，影像判釋之目標，應專注於現行林地分類下的林型與樹種之判釋，非林地的辨別則維持所內原有的作業方式進行確認。</p>

意見說明	回覆情形
<p>工具或篩選門檻，能夠自動排除（或判定出）坡地農作、高山草坡、沼澤濕地、人工建築、崩塌裸露地等「非林地」地區，所餘「林地」範圍，再納入本案機器學習模型進行林型與樹種自動分類。</p>	
<p>第 83 頁以機器學習模型產製網格化分類結果，輔助人工林型判釋作業部分，除了目前「針葉林」、「闊葉林」、「竹林」等 3 種純林判釋以外，若能針對混淆林提出判釋參考值（例如針葉 70%、闊葉 30%），則實用價值會更高。針對此項，提供建議如下：</p> <p>(1) 自動產製的網格化分類結果，最終仍將作為作業人員判釋與編修圖資參考。建議在最後年度總結報告時，應說明納入本項輔助程序對原本的判釋編修效率的提升情形。例如說明每 5000 分 1 圖幅可節省多少工作時數，俾利瞭解輔助工具的成效。</p> <p>(2) 以 5000 分 1 圖幅尺度而言，多邊型 (polygon-based) 的林型圈繪資料對現場工作有實務意義，故圖資產製過程中，確實仍有按照林型邊緣判釋圈繪的必要。但從事業區或林區尺度來說，快速產製各林型及樹種的分布面積及百分率，即可符合林務局掌握全島森林資源現況，以及瞭解森林資源長期變遷的目的。若本計畫可就事業區或林區層級，以自動化網格分類工具，產製各林型的分布圖（網格圖）與並計算面積，而後與森林資源調查所得的多邊型圈繪結果進行比較。若兩者數值接近且圖面差異不大，或可考慮作為快速產製大尺度森林資源分布的影像判釋工具；未來隨著航攝任務完成，即能快速產生各類林型分布參考數據，提供經營管理應用。</p>	<p>(1) 感謝委員建議，本計畫將持續與所內相關業務進行訪談了解，評估具體的時效節省。</p> <p>(2) 感謝委員建議，相關需求會再納入討論評估，以俾本計畫後續擴展之應用。</p>

意見說明	回覆情形
林委員科言	
<p>樹種判釋精度提升至 74%，顯示本研究所採用之分類演算法確實對於以機器學習輔助航攝影像森林覆蓋型萃取其助益。而本年度樹種增加至 19 種之理由為何？其緣由應增加於報告內。</p>	<p>感謝委員指教，增加至 19 類樹種是為了讓模型在學習林型時能有更多的參考。</p>
葉委員堃生	
<p>國網中心相關計收費用分為運算及儲存等費用，若非全時運算費用 65.6 萬元，是否包含雲端儲存費用？該相關費用詳細計收方式請團隊再補充說明之。</p>	<p>感謝委員指教，國往相關費用分別是 1,000 小時的運算費用與 12 個月的儲存費用，共計約 80 萬元。</p>
<p>經統計後所使用之航攝影像多以冬季且山區居多，該季節之山區航攝影像多有陰影而會影響判釋，此問題該如何用什麼方式處理？</p>	<p>感謝委員指教，本計畫將透過 DEM 產製陰影遮罩將山區受陰影遮蔽的地方遮住，以減少模型受到的影響。</p>
<p>第 27 頁「嘗試加入上述兩種影像間接驗證 DMC 影像訓練而成的樹種判釋模型之精度」，其中間接驗證是什麼概念？</p>	<p>感謝委員指教，此處指的是把正射影像餵入判釋模型，分析其預測成果是否與 DMC 影像的預測成果相似。</p>
<p>使用雄鷹無人機影像要留意其解算之 POS 資料精度較航攝影像為差，反投影是否能運用在雄鷹無人機影像需特別注意。</p>	<p>感謝委員提醒，經委員建議後，今年度計畫著重於有人機 DMC 影像之應用，經委員建議期末階段則優先以既有的正射影像進行測試，若有餘力才在進行 UAV 影像的相關測試。</p>
吳委員淑華	
<p>本計畫係就農航所目前巨量航攝影像以機器學習相關演算法來輔助森林覆蓋型萃取之研究，若縱使有無人機所拍攝之等多元影像，若非於契約裡面所要求，仍應以使用航攝影像以機器學習相關演算法來輔助，達成 IPCC 第 2 層林型資料萃取，研究量能才不至於過度發散。另有關後續銀合歡樹種萃取所需圖資則應著重以 DMC 航攝影像以及資源調查課圈繪範圍進行研究。</p>	<p>感謝委員建議，遵照辦理。</p>
<p>報告中多處圖表說明太過於簡略，閱讀上不易理解，且坐標軸亦無寫明，請補充。</p>	<p>感謝委員指教，已補充。</p>
<p>模型所使用之相關地形因子參數來源該如何產生？報告中並未敘述。另由</p>	<p>感謝委員建議，產製地形因子之工項已於去年言就完成，相關流程可參閱</p>

意見說明	回覆情形
圖 3-34 參數特徵熱點地圖所顯示這些地形因子對於模型非關鍵指標，不需使用這些因子對於判釋影像程度為何？	第一期成果報告書。另關鍵指標的篩選在期中後我們會逐步進行測試，看剔除相關參數後，模型精度是否能提升抑或下降。
請研究團隊配合農航所防疫措施，儘速至農航所進行軟硬體安裝、測試及訪談。	感謝委員指教，遵照辦理。
由秋冬季節影像進行機器學習的訓練樣本來作為春夏季節影像判釋森林覆蓋型之精度能維持於樹種 74%、林型 88%嗎？因此森林物候研究有其必要，惟台灣四季較不明顯，若以乾濕兩季來進行森林物候研究較為合適；另農航所有歷年巨量航攝影像可提供，除目前研究使用之前期 718 幅及本年度 2,133 幅航攝影像外，更應考量使用其他年度月份之航攝影像。	感謝委員建議，遵照辦理。
賴技正靜融	
於疫情可有效控制後，請研究團隊盡快安排人員至農航所進行拜訪交流，並進行軟硬體相關安裝、測試。	感謝委員建議，遵照辦理。
如進行銀合歡判釋所需地真資料，可協調屏東林區管理處提供較為詳細之資料供研究團隊使用。	感謝委員協助。

四、期末意見回覆

意見說明	回覆情形
<p>邱委員式鴻</p>	
<p>反投影高程系統是指使用投影中心時高程系統誤用成 TWD97 橢球高？抑或其他原因，請說明。</p>	<p>感謝委員指教，農航所提供的圖資資料欄位包含 TWD67 與 TWD97 兩種坐標系，橢球高的欄位名為 TWD97 高程，正高欄位名為 TWD67 高程，經農航所說明後使用正高作為圖資高程進行反投影。</p>
<p>反投影後內縮 25 公尺的做法是否會造成林型框有交錯情形？</p>	<p>感謝委員指教，根據分析林型圖徵面積普遍大於 0.5 公頃(約 5000 平方公尺)，因此內縮 25 公尺影像並不會有林型圖框交錯的問題。假若遇到林型面積小於內縮範圍，訓練作業就會直接捨棄該樣本不做使用。</p>
<p>請補充相關生產者、使用者、整體及 Kappa 等精度指標計算公式於第 35 頁。</p>	<p>感謝委員指教，已補充。</p>
<p>有關第 55 頁使用熱點地圖分析相關指標，其中 ExGI 影像力較差，為何不排除？</p>	<p>感謝委員指教，本年度新加入的光譜指標為試驗工作之一，其結果顯示部份光譜指標如 ExGI 無顯著影響，將會於明年度更新訓練模型時進行移除或調整。</p>
<p>於第 26 頁提到已蒐集 1,252 幅正射影像，為何於第 63 頁僅使用 2 張正射影像進行測試？而 2 張的樣本是否足夠？請說明之。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫篩選符合模型所需格式之正射影像達 300 張，隨機挑選 2 張包含所有林型的正射影像進行測試，實際可裁切出的樣本多達 5,179 個，唯樹種資料分布過於集中，後續可再增加隨機篩選的正射影像張數，做出更客觀的模型使用建議。</p>
<p>第 66 頁圖 5-13 請補充文字說明。</p>	<p>感謝委員指教，已補充敘述。</p>
<p>第 68 及 69 頁 (二) 臺灣混淆林狀況之該段文字描述重複，請改寫。</p>	<p>感謝委員指教，已修正。</p>
<p>第 69 頁 (三) 現行調查作業： (1) 立體觀測目前進用原影像分類，將來如何將其結果轉成 TWD97 坐標？ (2) 現行方法不常對既有林型框邊修，僅切圖徵與更新屬性，研究團隊以此原則設計更新模式，此特性建議於第 87 頁中加入更詳盡之說明。 (3) 是否現有林區均有其對應之林型</p>	<p>感謝委員指教，以下就各點說明。 (1) 立體像對主要是用來檢視林型框內的屬性資料是否有誤，因此不須將其轉為 TWD97 座標。 (2) 已修正。 (3) 本計畫所設計的工具是以現有林型框為基礎進行預測產出，且提供的資料是作為輔助使用，並非替代人工作業流程，在無林型框的林區雖</p>

意見說明	回覆情形
框？無林型框之林區，研究團隊發展之程序是否亦能修正適用？	能產出結果，但是否採納須由專業判釋人員決定。
第 88、90 頁圖 6-12，投影片之內容需在納入報告中。	感謝委員指教，已補充。
針對紋理單元之使用，仍建議於明年需將該指標納入探討。	感謝委員指教，本計畫使用 CNN 模型係以考量紋理特徵進辨識訓練，明年度計畫將著重於操作工具的開發與流程自動化。未來若有模型重整的必要才再納入探討。
謝委員嘉聲	
第 37 頁 PA 與 UA 的次序是否錯置？請確認之。	感謝委員指教，已修正。
樣本數以 512x512 像素材裁切進行訓練，而工具雛形開發則改為 256x256 像素裁切，此作法的緣由請補充說明。	感謝委員指教，本團隊規劃 512x512 像素進行裁切，主要是考量運算效率問題，若切的更細則訓練所需時間將倍數成長；而在工具開發時使用 256x256 像素，是因此大小較符合現行作業時的判釋範圍，因而選擇此大小。
投影片第 42 頁 ID3 中杉木 0.1783、松樹 0.2091，IPCC3 卻取杉木，這部分請查明後修正。	感謝委員指教，此為團隊疏失，已修正。
FPN 金字塔影像應是由細緻到粗略，非為模型優化，文字應改成不同比例進行測試。	感謝委員指教，本計畫以 FPN 的方法在模型訓練過程中，納入不同解析度的影像做訓練，其訓練結果係作為 CNN 主模型，是否增加 FPN 作為可能的優化方案之一，但結果顯示並無顯著效果。
有關物候變化在乾、溼季無太大的差異，此處是 CNN 無法偵測緣故？可否另以 SPM 分析成果？探討的內容較不足，可多加測試及探討。	感謝委員指教，在過去的許多文獻回顧內容中，模型訓練成果基本上取決於訓練資料集的資料品質與資料特性，無論使用深度學習(CNN)、或機器學習(SVM)方法，若非顯著特徵，其改善成效並不會有明顯差異。再考慮到大量影像訓練效能上的限制，無法每一個模型都進行完整測試，故今年度計畫仍以 CNN 為主要的訓練架構。未來若有模型重整的必要可再納入探討。
本案是否有使用類比式航攝影像？若無，應修正圖 3-9 及第 26 頁相關文字說明。	感謝委員建議，此處提到類比是因取得的正射影像來源並非全部來自 DMC，相關敘述已修正之。
應納入測試不同樣本大小 (1024x1024、512x512、256x256 等) 的訓練	感謝委員指教，本團隊規劃 512x512 像素進行裁切，主要是考量運算效率

意見說明	回覆情形
<p>成果進行探討，並比較處理作業時間。</p>	<p>問題，若切的更細則訓練所需時間將倍數成長，相關探討已於前期做過測試。</p>
<p>有其他針、其他闊的類別，請撰寫完整其內容。</p>	<p>感謝委員指教，本計畫使用的訓練標的源自於「林型暨土地覆蓋型圖資」，其訓練目標的類別屬性係依照原有類別做設計，以至於無法進一步細分歸納在其他針或其他闊的樹種包含了哪些細項。</p>
<p>林委員奐宇</p>	
<p>執行單位對於混淆矩陣(confusion matrix)的使用可能有不少解之處，且對於精度驗證也有許多地方未明確說明，例如：</p> <p>(1) 混淆矩陣請在行標題及列標題處，分別列出何維度為預測結果(predicted)、何維度為實際觀測結果(truth)。此外，應在行、列最末處，分別列出每個判釋類別的樣本總數，包含觀測樣本數與預測結果數。</p> <p>(2) 表 3-6、6-2：此表除 PA 與 UA 的次序錯置，整體精度(OA)計算似乎也有錯。按混淆矩陣的整體精度計算方式應是$(4472+1972+1283)/(4472+1972+1283+28+7+14+66+21+25)=97.96\%$，而非執行單位所算的 88%。然而 97.96%是一個極高的精度結果，模型是否能夠產出這麼準確的結果？請執行團隊再確認。</p> <p>精度驗證與 confusion matrix 的表達方式可參閱相關文件說明。</p> <p>(3) 有關物候分類模型驗證部分(表 5-2)，每個物種的物候時序與物候特性不同，不宜從平均精度解讀模型的分類結果，而應針對每一樹種分析時序因子加入後對於原模型的改善量。例如，按照野外經驗，冷杉的年間物候與樹冠顏色特徵差異小，而銀合歡的年間差異極大，這兩種樹種再加入時序影像之後，對於原模型的改善效果，可能會有不小的差異。</p> <p>(4) 第 65 頁：不宜以圖 5-10、圖 5-11 方式呈現模型正確判釋與誤判的樣</p>	<p>感謝委員指教，以下幾點回覆：</p> <p>(1) 已補充與修正。</p> <p>(2) 此為混淆矩陣誤植，實際矩陣並沒有如此高的精度，已修正。</p> <p>(3) 本計畫物候分類模型之驗證，主要目的為評估本計畫建構的 CNN 模型，在工具化後的實際運作能力，以及不同物候時間的影像是否直接影響模型預測的品質。據了解，特定樹種確實存在物候特性的差異，該議題應可納入明年度計畫，於特定樹種辨識模型打造過程進行深入討論。</p> <p>(4) 已修正呈現方式，將每一種樹種的分類結果獨立進行統計。</p>

意見說明	回覆情形
<p>本數。理由是，以圖 5-10 為例，雖可知 838 個冷杉樣本中，有 209 個被正確判釋出來，但在誤判樣本部分，本圖並不能呈現多少誤判落在鐵杉類別？又有多少誤判落在松樹類別。請改正呈現方式。</p>	
<p>期末報告內對於訓練資料與測試資料的說明並不明確，許多地方未能明瞭，例如：</p> <p>(1) 7,888 筆測試資料從何而來？是從第四次森林資源調查圖資內的航照判釋結果，搭配當時的航照影像而來嗎？或是根據森林永久樣區的地面調查與林型重新分類結果(圖 3-6)？</p> <p>(2) 若為前者，7,888 筆資料是採用何種抽樣方式而得？按照各林型的面積比例，隨機抽樣而來嗎？若資料來源為第四次森林資源調查，則圖 3-5、圖 3-6 及第 20 頁的文字說明有什麼意義呢？是不是森林永久樣區的資料並沒有放到這個計畫來使用？</p>	<p>感謝委員指教，以下幾點回覆：</p> <p>(1) 測試資料是從所有本計畫取得 DMC 影像經裁切等前處理後篩選出來的。</p> <p>(2) 本計畫取每種樹種各 2,000 筆樣本進行訓練，測試資料則取訓練的三分之一，也就是 666 筆，但有些樹種樣本數過少，在挑出訓練資料後會不足 666 筆，最後所有的測試資料共計 7,888 筆。而森林永久樣區的資料目前主要是用來做資料的整理，經檢核完的樣本才會進入模型做訓練。</p>
<p>銀合歡未能完成判釋，相當可惜。</p>	<p>感謝委員指教，銀合歡將於第三年進行實作。</p>
<p>其餘漏誤處如下：</p> <p>(1) 圖 3-6：圖說應非「永久樣區調查結果」，而是「依據 IPCC 土地覆蓋型標準對森林永久樣區林型的重新分類結果」。</p> <p>(2) 圖 3-9：圖例將類比影像標示為橘色，但圖內並無類比影像資料數量柱狀圖。為何？是數量太少，導致無法呈現嗎？</p> <p>(3) 第 30 頁第三行「考量航空照片拍攝時通常並非垂直地面拍攝」，這句話的描述不妥，因為農航所多數影像皆以「垂直照片」稱之。</p> <p>(4) 全篇內文：林業或生態學上應該沒有「純林樹種」這個名詞。如專指林型混淆度，以「純林」稱之即可；如指特定樹種，則可用「XX 樹種純林」、「紅檜純林」、「杉木純林」稱之。</p> <p>(5) 第 33 頁第 2 段末行，「受控人工</p>	<p>感謝委員指教，以下幾點回覆：</p> <p>(1) 已修正。</p> <p>(2) 因類比影像數量太少，故已更新統計圖。</p> <p>(3) 已修正。</p> <p>(4) 已修正。</p> <p>(5) 文意不清已修正。</p> <p>(6) 已修正。</p> <p>(7) 已補充說明。</p> <p>(8) 已補充說明。</p>

意見說明	回覆情形
<p>植栽復育影響較多的坡向特徵」，意思為何？</p> <p>(6) 第 58 頁 Lin et al.(2017)16，論文引用格式有誤。</p> <p>(7) 全篇內文：常以 IPCC2、IPCC3 來稱呼土地覆蓋型分類層級，雖然農航所及審查委員們均可瞭解，但請考量外界讀者的需求，在文內適當處予以標註說明。</p> <p>(8) 第 63 頁：859 與 4,320 個樣本從何而來？應說明清楚。</p>	
<p>樣本數的調整及因子的重要性篩選，以加速模型建立的速度。</p>	<p>感謝委員建議，為了提升模型訓練之效率，明年度計畫將在模型調整更新的同時適當的剔除無顯著影響之因子。</p>
<p>第 42 頁以樹種機率總和為 1 挑選機率最大為此樹種，前提是全臺灣一定是這 19 種的其中 1 種。</p>	<p>感謝委員指教，為了確保模型訓練的合理性，明年度計畫將在模型調整更新的同時，額外增加一類其它，避免分類機率的解讀出現不合理的狀況。</p>
<p>蔡委員展榮</p>	
<p>第 12、56 頁，DEM 所使用的是 20m 解析度，是哪一年製作的？有無考量使用 1m 網格的 DEM？</p>	<p>感謝委員指教，本計畫使用的 DEM 源自於內政部 105 年公告的開放資料。在考慮到未來模型更新的運算效率，以及資料更新的便捷性，目前並無規畫使用 1m 網格的 DEM。</p>
<p>第 10 頁，相關林型框內縮 25 公尺，對應於航攝影像是內縮多少像元？</p>	<p>感謝委員指教，以空間解析度 25 公分的航攝影像進行說明，內縮 25 公尺換算影像約 100 個像元。</p>
<p>第 13 頁最後一行請與農航所確認內容，不應以推測字眼呈現。</p>	<p>感謝委員指教，已確認並修正。</p>
<p>IPCC 的撰寫方式應統一，如 IPCC1、IPCC2、IPCC3。</p>	<p>感謝委員指教，已修正。</p>
<p>表 3-3 占比應改成覆蓋率。</p>	<p>感謝委員建議，已修正。</p>
<p>圖表宜補充說明，例如：第 20 頁圖 3-5、第 40 頁表 4-1 至表 4-3 等。</p>	<p>感謝委員指教，已修正。</p>
<p>第 23、69-70 頁提到之航攝影像數化，應修正為 3D 數化。</p>	<p>感謝委員指教，已修正。</p>
<p>第 24 頁中宜載明 $n \times n$ 範圍，本案採用的 $n = ?$</p>	<p>感謝委員指教，本案所使用 n 為 3，已補充說明於內文。</p>
<p>第 26 頁文字敘述與第 28 頁圖 3-9 所標示顏色顛倒，請修正。</p>	<p>感謝委員提醒，已修正。</p>
<p>圖 3-13 應改放本案實例圖較為合適。</p>	<p>感謝委員建議，已修正。</p>
<p>補充說明使用 512×512 之理由。</p>	<p>感謝委員指教，本團隊規劃 512×512</p>

意見說明	回覆情形
	像素進行裁切，主要是考量運算效率問題，若切的更細則訓練所需時間將倍數成長，因此選用此大小進行訓練。
第 33、38 頁，報告中有效位數的呈現要恰當。	感謝委員指教，已修正。
第 36、37、69、81 頁，宜載明 OA、Kappa 值計算(式)成果，並補充說明地真資料取得方式、套疊是否正確？95 年迄今，訓練資料區確認其樹種、林相未改變嗎？	感謝委員指教，相關公式已補充於內文當中。另外，地真資料的取得與圖資的套疊均延續去年成果，並已於第參章第一節詳細說明。而為了確保模型訓練資料的正確性，本計畫使用之航攝影像係以當時調查所用的影像資料為主。藉此避免樹種、林相發生巨大改變而未發現之問題。
報告內相關文詞應正確統一，如：「作為」vs「作為」、「部屬」vs「布署」vs「部署」等。另報告中第一次出現英文簡稱處應載明其英文全名。	感謝委員指教，已修正。
第 48 頁所謂之裁切是人工方式抑或自動作業？而此處提到 70 小時與第 51 頁表 4-7 約 300 秒實有出入，請說明之。	感謝委員指教，為了節省在農航所現場硬體效能測試的時間，只選五張影像進行評估，故訓練所花的時間僅約 300 秒，相關論述亦補充於本文之中。
第 62 頁有關乾濕季分群，建議可考慮氣候異常下的區域乾溼變化。	感謝委員指教，明年度計畫主要著重於操作工具的開發與流程自動化。未來若有模型重整的必要會再納入探討。
第 54、64 頁逐像元計算光譜組合指標，有使用同一樹種區塊裡的紋理、幾何等特徵來訓練學習嗎？	感謝委員指教，本計畫選擇使用 CNN 模型係已考慮以紋理特徵進辨識訓練。另外，在訓練資料的清理工作中，也為了確保樹種特徵的正確性，使用黑色遮罩來達到紋理、幾何特徵區隔的目的。
第 72 頁「反投影偏移改善」修改為「訂正反投影計算錯誤」。	感謝委員建議，已修正。
第 73 頁「每個類別最多取 666 個樣本」，是如何取？樣本數最少幾個？	感謝委員指教，於完成資料前理處之後觀察各樹種分布，結合模型架構判斷每類均上下採樣至 2000 張做為訓練用的原始資料，驗證資料普遍使用訓練資料之 1/3 故取 666 張。
第 82 頁「需求訪談與實際操作討論」該內容與圖 6-9 編修畫面不符。	感謝委員建議，已修正。

意見說明	回覆情形
第 98 頁宜載明確切人數 (依簽到單實際參與人數為 35 人)。	感謝委員建議，已修正。
度量衡單位應一致，例如：幅、張、個。	感謝委員建議，已修正。
葉委員堃生	
第 72 頁圖 6-3 的學習曲線是如何產生的？accuracy 的數值如何計算而得？請說明之。	感謝委員指教，在人工智慧領域，學習曲線通常紀錄的是模型訓練迭代的歷程，記錄著每一輪(Epoch)訓練後的模型精度變化，歷經數十輪或數百輪的學習，來取得模型最佳的迭代結果。因此圖上的準確度(Accuracy)為驗證資料的評價結果，代表全部的驗證資料樣本數中被正確分類的樣本數(TP+TN)。
2. 針對未來農航所新的飛機及航攝相機會有更高的解析度，套用於本案機器學習所訓練的模型是否會受到影響，而需要重新以較高解析度的影像重新訓練？	感謝委員指教，在正射影像的試驗案例中得知，基本上只要輸入模型的影像格式維持一至(包含 NIR 的四個光學波段)，模型就可依據過去的訓練經驗產出辨識結果。但其整體準確率確實可能因此打折，若未來有擴充模型運用範圍之必要，建議收納新的訓練資料集，按相同流程重新更新模型。
第 5 頁所提到的 DSM 進行反投影對位，而之後所使用的地形資料還是 DSM，請於報告中先行說明。	感謝委員指教，在今年度計畫中幾經委員建議與農航所會議討論後，決定專注於機器學習影像辨識工作，故已取消產製 DSM 之工作，並維持前一期計畫成果使用 DEM 搭配反投影之方法產製訓練資料，相關說明亦詳述於第參章第二節中。
第 25 頁倒數第 2 行寫到農航所自民國 90 年 9 月起，應為民國 95 年下半年，請修正。	感謝委員指教，已修正。
第 65 頁圖 5-9、5-11 為林型，下標請修正 Forest Type。	感謝委員建議，已修正。
第 31 頁圖 3-11 反投影右側線型仍為直線，請 check 該林型框資料正確性。	感謝委員指教，經檢查該案例圖的直線應受到航攝影像圖幅邊緣的裁切所致，林型框資料本身沒有錯誤。
林委員科言	
第 16 頁圖 3-3 及第 28 頁圖 3-9 為統計圖呈現，建議可將詳細之統計表以附錄方式放於報告。	感謝委員建議，已修正。
目前森林資源於國際政策上之角度傾向以經濟面、社會面及環境面等這三	感謝委員建議，已修正。

意見說明	回覆情形
方面，建議將第 17 頁的資源面修正為環境面較為妥適。	
第 38 頁表 3-7，樹種類別共 19 類，與清單內的數量總和不符，請查明後修正。	感謝委員指教，已修正為闊葉林種 8 類。
第 63 頁四、多元影像判釋中的文字與圖 5-13 內容無法對應，請團隊確認是否誤植。	感謝委員指教，已修正。
第 71 頁、第 86 頁中提到純林總佔比高達 86%，這邊應該改寫為單純的林型總佔比較為符合實際。	感謝委員建議，已修正。
第 93 頁圖 6-13 請加上恆春半島銀合歡分布範圍圖資。	感謝委員建議，已修正。
吳委員淑華	
有關第玖章、結論建議與續期規劃部分，請補充未來規劃的內容，並將本次簡報第 52、53 頁之內容併入期末報告書。	感謝委員指教，相關規劃已補充說明於第玖章。
多元影像判釋所使用的正射影像僅抽取 2 幅正射影像的原因為何？若為不適用之圖資，請研究團隊儘速與承辦課反應，並請承辦課另行提供適合之圖資進行後續研究。	感謝委員指教，本計畫篩選符合模型所需格式之正射影像達 300 張，隨機挑選 2 張包含所有林型的正射影像進行測試，實際可裁切出的樣本多達 5,179 個，唯樹種資料分布過於集中，後續可再增加隨機篩選的正射影像張數，做出更客觀的模型使用建議。
目前農航所使用內政部 5m DEM 有加上浮水印，如研究團隊後續研究如有更高解析度地形資料之需求，承辦課應與內政部協調提供未加浮水印 5m DEM，抑或可先以農航所測繪林區基本圖時所產製 9m DEM 進行分析。	本計畫使用的 DEM 源自於內政部 105 年公告的 20m 開放資料，在考慮到未來模型更新的運算效率，以及資料更新的便捷性，建議維持現有作法即可。
賴技正靜融	
第 12 頁最新版的「第四次森林資源調查檢訂調查圖資」之名稱，應修正為「林型暨土地覆蓋型圖資」。	感謝委員指指教，已修正。
蔡技士家銘	
第 71、86 頁中提到純林總佔比高達 86% 容易造成讀者的誤解，應改寫為單純的林型總佔比較為妥適。	感謝委員建議，已修正。

附錄三、教育訓練簡報

一、年度成果報告與未來展望 鄭錦桐博士

THINKTRON 110年11月04日
興創知能股份有限公司 行政院農業委員會林務局農林航空測量所

機器學習於航攝影像 森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

年度成果報告與未來展望

鄭錦桐 博士

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

一、計畫緣起目標

<p>需求痛點：森林資源調查量大但人力不足</p> <ul style="list-style-type: none"> 臺灣森林占全島土地面積近六成比例 林木本身具經濟價值，同時也是國土保安、水源涵養、氣候調節、育樂遊憩以及生物多樣性維護之重要角色 森林面積廣闊且多位於坡地不易到達之處，人力、安全及經費考量下，不易現地調查 航測判釋人才不易培訓及訓練成效不易掌握 	<p>解決方案：巨量航遙測影像資料與AI技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 農航所已建置有大規模之歷史航遙測影像資料，巨量航遙測資料 近年機器學習演算法快速發展，國內外皆有機器學習應用於森林資源調查之相關研究持續進行 透過發展航攝影像森林物件自動判釋技術，嘗試萃取森林覆蓋型、種別及變異等空間資訊，降低人為主觀判釋之差異及森林資源調查之成本 	<p>目標：發展森林物件自動判釋技術與資料庫規範</p> <ul style="list-style-type: none"> 探討森林覆蓋型自動判釋輔助人工判釋圖繪作業及特定植群分布資訊萃取之可行性 分析並提出農航所航攝資料(地面解析度0.5公尺以上)適用之機器學習演算法及開發平台 研擬制定相關影像發展特徵資料庫(AI模型訓練資料庫)之規格及流程規範
--	--	---

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

簡報大綱

- 壹、計畫說明
- 貳、110年度執行成果
- 參、明年度規劃

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、全程計畫工作範疇

109年度 (去年成果)	110年度 (本計畫目標)	111年度 (後續擴充)
<p>資料 分類 方法 蒐集 測試 評估</p> <ul style="list-style-type: none"> 資料蒐集樣區規劃 傳統遙測方法評估 深度學習方法探討 森林分類流程設計 教育訓練 已完成 	<p>分類 效能 流程 實作 評估 建置</p> <ul style="list-style-type: none"> 資料蒐集與模式建構 運算資源效能測試 模型效能提升方案 森林物件萃取流程建置 教育訓練與期刊投稿 今年目標 	<p>成果 操作 介面 實證 修正 設計</p> <ul style="list-style-type: none"> 資料蒐集實證規劃 軟體實作標準化 效能評估實測修正 分類流程介面設計 特定物種偵測評估 教育訓練與期刊投稿

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

壹 計畫說明

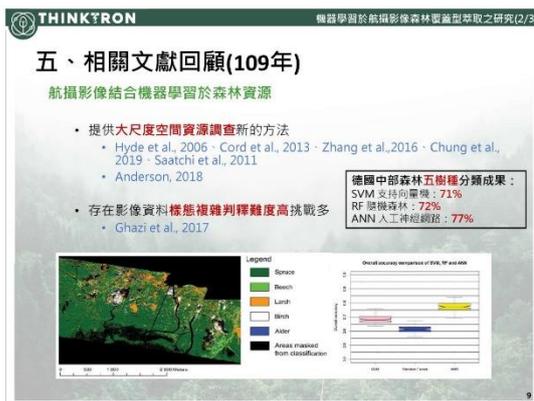
- 計畫緣起目標
- 全程計畫工作範疇
- 110年度計畫架構
- 年度摘要說明
- 相關文獻回顧(109年)

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

三、110年度計畫架構

```

    graph TD
      A[實作資料蒐集] --> B[演算模式建構]
      B --> C[流程效能測試]
      C --> D[運算資源調整]
      D --> E[效能提升方案]
      E --> F[自動化流程建置]
      F --> G[輔助既有流程]
      G --> H[介面設計規劃]
      I[光譜組合指標  
高解析影像  
物候特性] --> E
      J[研討會投稿] --> F
      K[教育訓練] --> H
  
```



THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(一) 實作資料蒐集 影像資料蒐集

1. DMC航攝影像

3,248點航攝影像分佈圖 (DMC影像)

影像年分布

影像月分布

完成蒐集並使用，共計3,248幅DMC航攝影像

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(一) 實作資料蒐集 地文資料蒐集

4. 數值地形與地文因子產製

DEM 切向 Aspect 粗糙 Roughness

坡度 Slope 地形位置指數 TPI 地形粗糙指數 TRI

維持109年的六項地文因子

- TPI (Topographic Position Index) 表示DEM相鄰網格之間的高程差。
- TRI (Topographic Roughness Index) 表示DEM相鄰網格之間的高程差平均。

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(一) 實作資料蒐集 現地資料蒐集

2. 全島林型圖(機器學習模型標記資料)

第四次森林資源調查檢訂調查圖資(109年)

檢訂調查林型圖(109年產製)

核對編修位置 確認目標樹種 篩選當時影像

選出可用航攝影像與標記資料

取代105年版的林型圖檔，提升標記資料正確性

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(一) 實作資料蒐集 其他資料蒐集

5. 其他影像資料(正射影像)

蒐集除DMC外其他光學影像(如正射影像)，測試不同類型影像對原模型樹種/林型判識之影響，做為模型擴散使用之評估。

1,252點正射影像分佈圖 (orthorectified)

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(一) 實作資料蒐集 現地資料蒐集

3. 永久樣區調查(標記資料正確性校驗)

永久樣區標點資料專家歸納

林型圖資空間座標位置匹配

確認林型標記資料正確與否

模型更新再訓練

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二) 演算模式建構

訓練資料產製流程

機器學習訓練流程

模型訓練

模型經參數調整及更新

模型評估

Not Well 模型參數待調整

Well 模型產出

A. 以正高重新反投影，偏差獲得改善

B. 延續109年訓練之流程，增加5項光譜組合指標

C. 擴充樹種辨識模型至19類，樣本變多精度也提升

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二)演算模式建構

1. 反投影開發

- 利用共線關係將標記資料反投影至航攝影像上
- 排除因地形起伏或其他原因造成的交叉情形以獲得實際位置
- 內縮25公尺確保資料品質。

排除交叉情形

反投影成果

反投影並內縮

19

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二)演算模式建構

AI辨識模式建構

2. 樹種辨識模型設計擴充

19類樹種示意圖

22

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二)演算模式建構

1. 反投影開發

反投影偏移改善

規劃產製DSM改善反投影偏移問題

↓

避免偏離計畫目標，耗費過多精力處理DSM校正問題，經委員建議與所內共議，取消產製DSM來改善反投影問題。

↓

依所內操作經驗，以正高(TWD67標位)高程取代橫球高(TWD97標位)重新進行反投影，觀察部分區域偏差獲得改善，無法改善之處，仍以內縮25公尺確保資料正確

20

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二)演算模式建構

AI辨識模式建構

2. 樹種辨識模型設計擴充

精度與Kappa均大幅提升

	109年計畫	110年計畫
模型架構	CNN與DNN	CNN與DNN
樹種類別	11類	19類
樹種清單	1.針葉林種7種：松木(紅松、黑松)、杉樹(二葉杉、五葉松等)、杉木(大杉、杉木等)、台灣杉、樟杉、樟杉與冷杉。 2.闊葉林種2種：相思樹與台灣赤楊。	1.針葉林種9種：真柏、冷杉、鐵杉、松木(紅松、黑松)、台灣杉、杉木(大杉、杉木等)、臺灣肖楠、樟杉與松樹(二葉松、五葉松等)。 2.闊葉林種9種：相思樹、相思樹、大葉桃花心木、臺灣赤楊、銀合歡、光臘樹、臺灣樟與木薑子。 3.竹類2種：廣生狀竹與單種狀竹。
特徵參數	1.影像波段4參數：Red、Green、Blue與NIR。 2.幾何因子6參數：DEM、Slope、Aspect、Roughness、TRI與TRI。 3.光譜組合指標1參數：NDVI。	1.影像波段4參數：Red、Green、Blue與NIR。 2.幾何因子6參數：DEM、Slope、Aspect、Roughness、TRI與TRI。 3.光譜組合指標6參數：NDVI、SAVI、AVRI、ExGI、GCC與GLI。
模型精度 ¹	65.3%	72.5%
整體精度 ²	67%	89%
Kappa ²	0.618	0.89

註1：模型精度為模型訓練時經由驗證資料(Valid Data)得到
註2：整體精度與Kappa為測試資料(Test Data)通過混淆矩陣計算得到

23

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

(二)演算模式建構

AI辨識模式建構

2. 樹種辨識模型設計擴充

訓練資料前處理(裁切、遮罩、進化)

延縮原架構，擴充訓練目標(11->19)，也擴充特徵因子數量(11->16)

模型評估方法(交集除以聯集IOU)

$$IOU = \frac{\text{Intersection}}{\text{UNION}}$$

評估指標	類別1	...	類別N	生產者精度：PA
類別1	X ₁₁	...	X _{1N}	PA ₁
...
類別N	X _{N1}	...	X _{NN}	PA _N
使用者精度：UA	UA ₁	...	UA _N	
整體精度：OA				Kappa指標：K

24

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

1. 國內外資源盤整(國外資源)

雲端平台	AWS	Azure	GCP
商標			
開發商	Amazon	Microsoft	Google
發行日期	2006	2010	2011
優勢	1. 主導的市場地位 2. 廣泛而成熟的產品 3. 對大型組織的支持 4. 廣泛的培訓全球影響力	1. 與Microsoft工具與軟體結合 2. 廣泛的功能集 4. 混合雲 5. 支持開源	1. 專為雲原生業務設計 2. 致力於靈活性和可移植性 3. 大程折扣和靈活的合同 4. DevOps專業知識
劣勢	1. 使用困難 2. 成本管理 3. 靈敏性的處理	1. 文檔問題 2. 管理工具不完善	1. IaaS市場的滲透率低 2. 功能和服務較少 3. 歷史並非以企業為中心

- 在機敏保密原則下，盤點模型運算資源與儲存格之需求，整理國內外主流運算資源。
- 實務經驗上，在既有模型未達成熟、未廣泛使用之際，應暫以本地端設備為優先方案。

24

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

1. 國內外資源盤整(國內資源-TWCC)

NAR Labs 國家實驗研究院
國家高速網路與計算中心

服務	容器運算服務 (CCS)	虛擬機運算服務 (VCS)	高階運算 (HPC)
功能與特色	● 提供AI框架訓練與推測 ● 支援持續參數百分比調整 ● 資源靈活彈性	● 功能與一般虛擬機無異，適合系統開發與測試 ● 可選擇網路及安全相關設定 ● 資源靈活彈性	● 針對高階運算需求 ● 提供高階GPU數量
資源規格	● 最多可調用 8xGPU ● 資源比 GPU:CPU:RAM (GB) 1:4:90	● 提供vCPU 最多可調用48核	● 高階性估 高階調度GPU數量
儲存空間	● 高階儲存服務 (HFS) ● 1TB起配及備份 200GB，可透過字塊擴充	● 高階儲存服務 (HFS) ● 1TB起配及備份 200GB，可透過字塊擴充	● 高階儲存服務 (HFS) ● 1TB起配及備份 200GB，可透過字塊擴充

以容器運算服務CCS+雲端物件儲存服務COS概稱

服務	高階儲存服務 (HFS)	虛擬機運算服務 (VCS)	高階運算 (HPC)
儲存空間	● 透過SFTP上傳及下載檔案	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務
資料備份	● 透過SFTP上傳及下載檔案	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務
資料備份	● 透過SFTP上傳及下載檔案	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務	● 透過TWCC CU 管理物件儲存服務

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

2. 訓練流程效能測試

訓練資料產製流程

訓練資料產製流程

A. 全台6項地文因子產製 10分鐘/次

B. 訓練資料反投影 47.7秒/幅

機器學習訓練流程

C. 訓練影像前處理 90秒/幅

D. 模型建構與訓練 70小時/次

機器學習訓練流程

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

1. 國內外資源盤整(國內資源-TWCC)

- 台智雲(Taiwan Web Service Corporation) · TWCC商業用戶服務窗口
- 以容器運算服務CCS+雲端物件儲存服務COS概稱
- 8張GPU · 32核心CPU和720GB記憶體規格來看，最新報價每小時約348元 (原報價656元)

運算資源：以一年1000小時來算，價格約34.8萬台幣

儲存資源：以一年10TB的SSD固態硬碟，價格約24萬台幣

總計61.7萬台幣

具備嚴謹資安服務，受到國際認證

TWCC 提供以下加值的安全服務，用以加強資源使用的資訊安全機制，保護您的資料安全。

- VPN：提供VPN 24小時專線服務，確保資料傳輸安全。
- 基礎備份與火燭：針對來自網路到應用層之威脅，透過高效的火燭進行存取控制以及流量管理。
- Web 應用層式防火牆：使用 WAF 保護網站伺服器，避免網頁應用程式遭到網路攻擊導致服務受到影響或是資料損失。

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

2. 訓練流程效能測試(訓練資料產製流程)

- 地文因子產製 (包含DEM等六項因子)
一次性的產製全台地文因子計算耗時10分鐘內
- 標記資料反投影
計算空間對應關係
單幅約41秒
- 反投影標記資料
單幅約6.7秒

單幅平均47.7秒，3,248幅共計43小時

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

1. 國內外資源盤整(國內資源-TWCC)

項次	產品內容說明	計價單位	數量	單價	小計
1	TWCC 容器運算服務 (CCS) CPU: Intel Xeon E5-2630 V3 32GB CPU: Intel Xeon Gold 6138系列 型號: c4.xlarge 規格: 8 GPU + 32 vCPU + RAM 720GB	小時	1,000	348	348,000
2	TWCC 雲端物件儲存服務 (COS) 固態硬碟 (SSD): 10 TB = 10,240 GB	月	12	1,950.83	23,410
		合計			587,816
	行政費率 ● 9% (儲蓄 免月費) ● 1% (儲蓄 免月費) ● 1% (儲蓄 免月費)				20,340.8
	總共 5%				616,997
	總共 5% (含儲蓄免月費，未達一定消費額則按個人計算免月費)				616,997
	總計：新台幣 617 萬 9,997 元				

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

二、機器學習運算資源效能測試

2. 訓練流程效能測試(機器學習訓練流程)

- 訓練資料產製(影像切割、遮罩)
採用512x512像素為裁切單元 (約1.5公頃)
- 判斷模型訓練 每次訓練約70小時

Time For Splitting Image (Mean 92.32 secs)

單幅平均約92秒，3,248幅共計83小時

二、機器學習運算資源效能測試

3. 硬體運算環境

- 模型涉及大量影像讀寫，從效能跑分來看CPU效能上的差異會影響模型訓練的效率。
- 為進一步評估已定測試程式，至農航所進行實際測試，確認運算效能。

硬體	農航所規格	農航所規格
CPU	Ryzen Threadripper 2990WX (32核64執行緒，基頻3.0GHz)	Intel® Xeon® Gold 6226 (12核24執行緒，基頻2.7GHz)
RAM	128GB DDR4 2933MHz	64GB DDR4 2933MHz
HDD	6TB/7200rpm x 1	4TB/7200rpm x 4
SSD	1TB NVMe x 1	1TB NVMe x 2
GPU	Nvidia Titan RTX x 1	Nvidia Quadro P620 x 1 Nvidia GeForce RTX 3090 x 1

三、機器學習模型效能提升方案

2. 高解析影像優化試驗

導入多尺度(Multi-scale)影像處理技術，基於特種金字塔網絡(Feature Pyramid Network, FPN)之機制，解決不同解析度影像之結構特徵萃取，加入既有模型之結構。

從訓練精度與驗證精度發現，FPN並未特別優異，反而拖慢模型訓練的時效。

Training History IPCC3 (acc: 0.73)

Epoch	FPN的樹種分類訓練精度	FPN的樹種分類驗證精度	CNN的樹種分類訓練精度	CNN的樹種分類驗證精度
0	0.45	0.45	0.45	0.45
20	0.65	0.65	0.65	0.65
40	0.70	0.70	0.70	0.70
60	0.72	0.72	0.72	0.72

二、機器學習運算資源效能測試

3. 硬體運算環境

以5張影像測試各階段時效

	農航所	農航所
建立影像對應關係	27.35s	27.35s
標記資料反投影	4.93s	4.79s
訓練資料產製	314.22s	416.21s
模型訓練	297.82s	332.43s

三、機器學習模型效能提升方案

3. 訓練樣本物候特性試驗

- 持續蒐集影像以解決分布不均問題
- 以乾季作為物候特徵，分析是否影響判別精度

	乾季	濕季	全年
樣本數	5,822	2,066	7,888
IPCC2	98.04%	97.73%	97.96%
IPCC3	89.14%	90.12%	89.4%

北：台北、新北、基隆、桃園、新竹與宜蘭
 中：苗栗、台中、彰化、南投、雲林
 南：嘉義、台南、高雄、屏東

三、機器學習模型效能提升方案

1. 光譜組合指標試驗

● 熱點地圖結果驗證

光譜學特性與人工智慧方法之關聯度與指標相關性、顏色越深相關性越高

指標	公式	其他針葉林	闊葉林	混交林	草地	水域	Urban	NDVI	AVRI	EXD	OCC	GLI
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{P_{near} - P_{short}}{P_{near} + P_{short}}$	0.15	0.10	0.05	0.00	-0.05	-0.10	0.15	0.10	0.05	0.00	-0.05
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{P_{near} - P_{short}}{P_{near} + P_{short} + 1}$	0.12	0.08	0.03	0.00	-0.03	-0.08	0.12	0.08	0.03	0.00	-0.03
Atmospheric Reflection Vegetation Index	$AVRI = \frac{P_{near} - (P_{short} + P_{blue})}{P_{near} + (P_{short} + P_{blue})}$	0.10	0.05	0.00	0.00	-0.05	-0.10	0.10	0.05	0.00	0.00	-0.05
Excess Green Index	$BxGI = 2 * P_{green} - (P_{red} + P_{blue})$	0.08	0.03	0.00	0.00	-0.03	-0.08	0.08	0.03	0.00	0.00	-0.03
Green Chromatic Coordinate	$GCC = \frac{P_{green}}{P_{red} + P_{blue}}$	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	-0.05
Green Leaf Index	$GLI = \frac{2 * P_{green} - P_{red} + P_{blue}}{2 * P_{green} + P_{red} + P_{blue}}$	0.03	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	-0.03

除了原有的NDVI，新增五個光譜組合指標

四、森林物件萃取自動化流程建置

1. 混濶林型分類模型擴充試驗

● 混濶林界定原則

林型	針葉樹	闊葉樹	竹類
針葉樹林型	80% ↑	20% ↓	20% ↓
闊葉樹林型	20% ↓	80% ↑	20% ↓
針葉闊葉混濶林	20% ↓	20% ↓	20% ↓
竹林	20% ↓	20% ↓	80% ↑
竹闊葉混濶林	20% ↓	20% ↓	20% ↓
竹針葉混濶林	20% ↓	20% ↓	20% ↓

● 數位航攝立體判釋及數位化系統

林型	總面積(公頃)	覆蓋率
闊葉樹林型	1,348,106	66.52%
針葉樹林型	295,802	14.60%
竹林	97,884	4.83%
針闊葉樹混濶林	167,441	8.26%
竹闊葉混濶林	89,177	4.40%
竹針葉混濶林	673	0.03%
竹針闊混濶林	209	0.01%
待成林地	27,362	1.35%
合計	2,026,655	100%

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

四、森林物件萃取自動化流程建置

2. 機器學習模型系統設計規劃

流程框架	流程角色	工作重點
專家訓練輔助流程	客觀輔助森林從業人員，減少資料標權，建立資料品質監管(QA/QC)方法提升訓練資料品質。	<ul style="list-style-type: none"> 既有訓練資料製流程修正(稱高轉正高) 訓練結果專家檢驗 永久樣區資料檢驗(林型比對)
機器學習模型訓練流程	機器學習(深度學習)模型核心，透過CNN模型架構設計，優化模型，以提升預測準確性。	<ul style="list-style-type: none"> 模型優化測試 <ol style="list-style-type: none"> 光譜組合指標試驗 高斯分布參數化試驗 訓練樣本物標權性試驗 樹種模型擴充(11種增加至19種) 純林模型擴充(應用於混濶林辨識)
模型部署與預測流程	以自動化為目標，輸入航攝影像，藉由訓練好的模型，預測結果框選特定樹種位置，並提供檢核。	<ul style="list-style-type: none"> 航攝影像森林覆蓋型辨識 <ol style="list-style-type: none"> 影像過濾與結果輔助 林型圖框樹種組成輔助(標期補助) 專家編修與模型更新建議

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

五、論文投稿

研討會與論文投稿規劃

ICEO&SI 2021
時間：08/23~08/24
地點：國立聯合大學
投稿名稱：應用卷神經網路模型(CNN)於航測影像森林覆蓋型分類之研究

日期	研討會日期	預期進度/進度
110.03.01	徵求提案之期限截止	已註冊
110.05.10	提案上傳截止	已上傳
110.06.10	錄取通知單截止	已錄取
110.08.01	會議論文行程公告	已公告
110.08.23	會議開始	已結束

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

四、森林物件萃取自動化流程建置

2. 機器學習模型系統設計規劃

模型介面設計與輔助作業規劃

模型部署與預測流程

航攝影像取得
 森林物件
 資料前處理
 自動化模型
 資料產出
 成果資料庫

影像遮罩辨識結果輔助
 256x256像素
 林型
 針葉林
 闊葉林

- 林型樹種判釋成果重新拼接
- 增加遮罩快速識別辨識結果

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

五、論文投稿

研討會與論文投稿規劃

110年森林資源永續發展研討會
時間：10/28~10/29
地點：國立嘉義大學森林部
投稿名稱：應用機器學習方法於航測影像之樹種分類研究

*10/28 12:30-14:00 各組指定海報閱覽時間
地點：森林館1F穿堂(中央走廊)
林學組 序號31

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

四、森林物件萃取自動化流程建置

2. 機器學習模型系統設計規劃

模型介面設計與輔助作業規劃

實際產出輔助shp

影像遮罩辨識結果輔助

- 林型樹種判釋成果重新拼接
- 增加遮罩快速識別辨識結果
- 協作作業排除無異議純林區
- 輔助林型圖框確認混淆比例

林型圖框樹種組成輔助(明年規劃)

- 自動化檢索與統計辨識結果
- 設計介面整合展示統計結果
- 直接作為作業人員辨識依據

輔助工具的混濶林分類依據

林型	針葉林	闊葉林	竹類
針葉樹林型	70% ↓	30% ↓	30% ↓
闊葉樹林型	30% ↓	70% ↑	30% ↓
針葉闊葉混濶林	30%-70%	30%-70%	30% ↓
竹林	30% ↓	30%	70% ↑
竹闊混濶林	30% ↓	30%-70%	30%-70%
竹針混濶林	30%-70%	30% ↓	30%-70%

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

六、教育訓練

教育訓練規劃(今天)

前一年計畫辦理情形

時間	時數	課程名稱	講師
09:00-10:00	60分	年度成果報告與未來展望	鄭錫村 處長
10:00-10:30	30分	輔助工具教學	張新博 產品分析部
10:30-10:40 休息時間			
10:40-11:40	60分	輔助工具操作	張新博 AI工程師
11:40-12:10	30分	DataCube應用	張新博 產品分析部
12:10-13:30 午休時間			
13:30-14:30	60分	應用於森林管理之應用	鍾智軒 教授
14:30-14:40 休息時間			
14:40-15:20	40分	AI的基礎	葉特莉 AI工程師
15:20-16:00	40分	AI的新技術與挑戰	李允博 AI工程師
16:00-16:10 休息時間			
16:10-16:40	30分	綜合討論	

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)



111年度規劃事項

- 一、實證區域規劃與資料蒐集
- 二、機器學習流程標準化
- 三、自動化模式實測、效能評估及修正
- 四、智慧分析介面與調查流程完整化
- 五、特定物種可行性評估
- 六、教育訓練與投稿

49

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)



第三年工項規劃

1. 實證區域規劃與資料蒐集 → 持續蒐集影像
2. 機器學習之軟體開發與硬體規劃、實作與流程標準化 → (確認程式需要的功能、結合檢訂調查)
3. 現行森林資源調查架構下以機器學習技術自動化
智慧判釋森林覆蓋型模式之實測、效能評估及修正 → 重train model
4. 開發機器學習自動化智慧分析介面與調查流程完整化 → 介面設計(GUI or CLI)
5. 機器學習應用於特定物種自動化偵測之可行性評估 → 只要銀合歡
6. 投稿至少1篇論文至國內外期刊或研討會
7. 教育訓練

50

THINKTRON 110年11月04日
興創知能股份有限公司 行政院農業委員會林務局農林航空測距所



Thank You



51

二、輔助工具教學 吳笙緯 產品分析師

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

行政院農委會林務局
農林航空測量所

森林AI教育訓練

AI判釋輔助工具說明

技術研發部-三課
吳笙緯 / 產品分析師

THINKTRON
興創知能股份有限公司

日本日立集團、財團法人中興工程顧問社、合資公司
Japan A&E Group / Global AI Engineering Consultants, Inc. AI&E Institute

影像過濾

遮罩過濾

非林地

過濾非林地的地區，只留下林地進行預測
透過反投影後的林型圖過濾非林地的地方，只留下林地地區進行預測

THINKTRON 110年11月4日

輔助工具設計

網格化與反投影建立 → 影像過濾 → 航攝影像裁切

模型預測 → 與林型圖資比較 → 輔助檔案產出

航攝影像裁切

將原始航攝影像裁切成模型可讀取的單元網格 (大小512 x 512 pixel)
將航攝影像裁切成 n x m 個 256 x 256 pixel 的單元後，將單元放大為 512 x 512 pixel。

網格化與反投影建立

反投影建立

向量資料網格化

建立反投影對應關係並進行網格化與反投影
DEM → 反投影 → 做為模型輸入參數
林型圖資 → 網格化 → 反投影 → 後續分析使用

模型預測

單元輸入模型判釋

得到每種分類的機率

IPCC2	0.92	0.02	0.06
IPCCB	0.8	...	0.04
...
IPCC2	0.05	0.07	0.88
IPCCB	0.03	...	0.94

林型：以0.7和0.3為界
 • 有2類大於0.3小於0.7為混淆林
 • 只有1類大於0.7為純林
 • 都小於0.3為非林地

樹種：取最大值做為判釋結果

非林地：寫入為非林地

將單元放入模型判釋，得到分類結果
經過裁切過濾後的單元放入模型預測，得到林型3類、樹種19類的分別機率；透過門檻值決定每個單元的最終判釋結果

與林型圖資比較

模型預測IPCC2	模型預測IPCC3	林型IPCC2	林型IPCC3	IPCC2相符	IPCC3相符
竹林	闊葉林竹	竹林	闊葉林竹	1	1
竹葉混雜林	闊葉林竹	竹林	闊葉林竹	0	1
新設混雜林	松樹	闊葉林	闊葉林	0	0
闊葉林	松樹	闊葉林	闊葉林	1	0
針葉林	冷杉	針葉林	冷杉	1	1

模型判釋結果

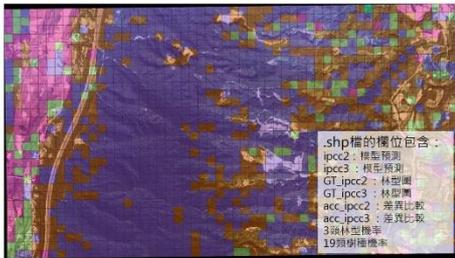
林型原本屬性

判釋與原圖比較

和反投影後的林型圖比較，標示差異處

將每個單元的最終判釋結果分別和林型圖比較，確認是否相同。林型或樹種判釋結果與林型圖不一樣的單元，會進行標示。

輔助檔案產出



將判釋完的單元拼接組成原始航攝影像後以.shp格式匯出
產出含有前面所有資料的.shp檔，供判釋人員做為參考

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)

行政院農會林務局
農林航空測量所

THANK YOU

»»»

THINKTRON
興創知能股份有限公司

日本日亞集團 · 財團法人中國工程師同社 合資公司
Japan Asahi Group · Shinichi Engineering Consultants, Inc. Joint venture

三、輔助工具實作 魏擇壹 AI 演算法工程師

THINKTRON 110年11月04日
機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

產品應用方法、資料夾配置、及可能遇到之問題

技術研發部
三課 (遙測技術與AI解決方案)
魏擇壹 工程師



THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

安裝及執行

1. Install.bat
生成 docker image (約10分鐘)
2. 設定run.bat 的資料夾路徑
3. 於IO內建立input_data、output_data 資料夾
4. run.bat
進入剛剛生成的環境且連結PC對應的資料夾
等待圖片開始辨識

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

大綱

- 壹、如何使用
- 貳、資料夾配置
- 參、運行過程警告
- 肆、可能遇到報錯

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Intall.bat

左鍵點兩下install.bat，完成會看到。

```
C:\Users\Ov@system2>cmd.exe
C:\Users\thinktron\Jeremy\Projects\Afas\ForestCoverage2>docker load -i forest_ml.tar
Loaded image: forest/dandy-ml:latest
C:\Users\thinktron\Jeremy\Projects\Afas\ForestCoverage2>pause
請按任意鍵繼續 . . .
```

可於CMD下指令 docker images 檢查是否安裝成功(forest/dandy-ml)

```
C:\Users\thinktron\Jeremy\Projects\Afas\ForestCoverage2>docker images
REPOSITORY          TAG         IMAGE ID      CREATED       SIZE
forest/dandy-ml     latest     2ac921b5dc75  2 hours ago  6.4GB
forest/dandy-ml     latest     48dad07e25cb  19 hours ago  21.5GB
jeremy4555/trongispy latest     ff53692c97bd  2 months ago  3.63GB
```

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

基本文件及配置

- Install.bat
- run.bat
需手動設定資料夾路徑以及記憶體上限 CPU使用數量上限
- forest_ml.tar
- Docker image file
- IO (folder)
用於資料交換
- memoryerror.bat
- debug

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

run.bat 設定

對run.bat 右鍵選擇編輯

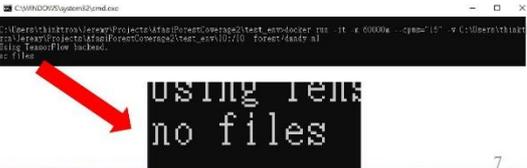
```
run.bat - 記事本
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 幫助(H) 說明
docker run -it --rm --cpus="1.5" -v C:\Users\thinktron\Jeremy\Projects\Afas\ForestCoverage2\IO:/IO forest/dandy-ml
pause
```

將紅框內改成自己的IO資料夾路徑，剩下:/IO不需更改。

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

運行run.bat

成功運行後每一分鐘會檢查input_data資料夾內是否有檔案，如果有檔案進行辨識，無檔案則會顯示no files



7

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

資料夾配置

- 於PC端 IO(用於bind docker input output)
- 於Docker container temp_data

如果需要看運算過程中之檔案可將temp_data之檔案移到與PC綁定之資料夾下即可於PC端觀看

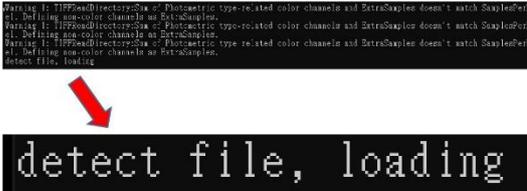
[詳細配置](#)

10

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

運行run.bat

偵測到檔案則會顯示 detect file, loading



9

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Warning

- 由於我們重新定義坐標系所產生的警告對結果無影響
- Warning 1: TIFFReadDirectory:Sum of Photometric type-related color channels and ExtraSamples doesn't match SamplesPerPixel. Defining non-color channels as ExtraSamples.
- 第一次用docker 連結PC端資料夾



11

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

辨識結果

- Shapefiles 放在output_data裡面
- 辨識過的Tiff檔案放在 output_data/done資料夾裡面



9

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Error

可能發生Error的情況：

- 輸入要辨識的圖片為RGB 並非 RGBN圖片
由於AI model當初訓練時就有使用NIR作為訓練用特徵
- 檔名格式錯誤
導致程式找不到對應的林型或者DEM
- 區域不在檢訂調查林型的範圍
無法取得林型相關資訊
- 電腦空間不夠
點兩下Memoryerror.bat 輸入y

12

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Q & A

技術研發部
三課(遙測技術與AI解決方案)
魏擇壹 工程師 

Thanks
freddy282859@thinktronltd.com

13

四、DataCube 應用 張淵翔 產品分析師

THINKTRON
思銳知能股份有限公司

110年11月04日

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

DataCube應用



技術研發部
三課 (遙測技術與AI解決方案)

張淵翔 分析師

THINKTRON



OPEN DATA CUBE

THINKTRON

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

簡報大綱

- 壹、Open Data Cube
- 貳、Taiwan Data Cube
- 參、Q&A

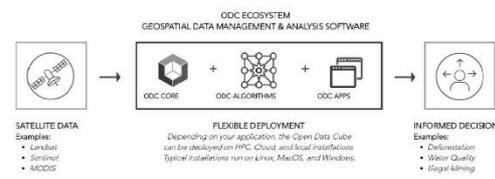
THINKTRON

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Open Data Cube (ODC)



The Open Data Cube (ODC) is an **open-source solution** for accessing, managing, and analyzing large quantities of Geographic Information System (GIS) data - namely Earth observation (EO) data.



<https://www.opendatacube.org/overview>

THINKTRON

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練



講者簡介

張淵翔 三課 產品分析師

系統分析與設計、專案管理、衛星遙測、地理資訊系統、天氣觀測及分析

專案經歷

- 新北市消防局-全災型智慧化指揮監控中心
- 宜蘭縣環保局-污染源管理地理資訊系統
- 行政院環保署-環境感測數據分析及展示服務擴充暨維護
- 中央氣象局-遙測資料顯示服務系統暨相關產品開發

榮譽

- 109年度 亞洲開放資料挑戰賽 入圍決賽

經歷

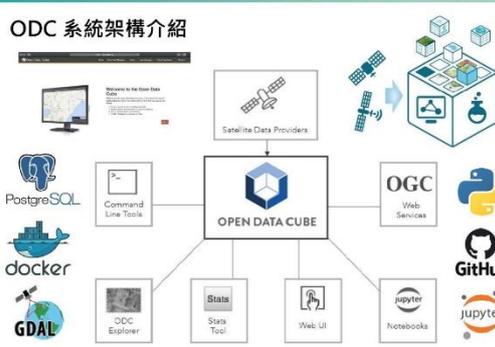
展訊科技股份有限公司 GIS分析師
創宇航太股份有限公司 助理工程師
空軍第二基地天氣中心 氣象官

國立中央大學太空及遙測研究中心 碩士
國立中央大學大氣科學系太空組 學士

THINKTRON

機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

ODC 系統架構介紹



THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

ODC 應用效益與價值

資料立方儲存影像降低應用成本
衛星影像時序與空間整合倉儲

Structured time-series
Observations
Analysis Ready Data
Products
Information for Decisions

OPEN DATA CUBE

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWCC服務架構

精準醫療 環境災防 智慧機械 民生物聯網 新農業 綠能科技 半導體 科技人文 數位金融

部會/產業/學研-重點應用領域

數據集: 生物、醫療、環境、財稅、交通等
大數據: 各類影像/聲音/文字

軟體平台: AI (機器學習, 訓練後神經網絡), 大數據 (資料探勘, 模型展現), 高速運算 (視覺化)

可當地、可延展之國家級基礎設施

台灣杉一號 台灣杉二號 TWCC臺灣AI雲
高效能異地儲存 高品質學術研究網路TWAREN

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Taiwan Data Cube (TWDC)

NSPO 國家實驗研究院
國家太空中心
NSPO National Space Organization

台灣杉二號 The NCHC is accelerating AI innovation in Taiwan
TAIWANIA 2

Taiwan Data Cube
衛星多元遙測資料服務平台

2018年11月排名
TOP 500 Green 500

NAR Labs 國家實驗研究院
國家高遠程遙測研究中心

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC服務架構

Public Cube (Open Data) Landsat-7/8 Sentinel-1/2

Commercial Cube (Free of Charge) Formosa-2 2012-2013-2014-2015

Commercial Cube (Non-Free) Formosa-2 (Others) Formosa-5

User's Private Cube (Personal Data) Your Data

NSPO

NFS -Original Data -Ingest Data

WEB UI

PostgreSQL -Index

GEO APIs

STATS Tools

jupyter

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWCC臺灣AI雲

台灣杉一號: 具大量計算節點與現立的機架系統空間, 高度系統安全機制, 可提供多種領域的計算服務, 包含物理、化學、數學、大數據科學、工程應用、生命科學等。

TWCC臺灣AI雲: 以超級電腦(台灣杉二號)為基礎, 以9 PFLOPS的優良效能, 提供成效優異的雲端計算服務。

1.7 PF TAIWANIA 1
9 PF TAIWANIA 2

巨量儲存

● 國際中心於新竹、台中、台南建置高效率、高容量之儲存設備, 容量超過1.2PB。

● 擁有多重ISO認證保障, 搭配TWAREN雙幹線光纖網路地不中斷的傳輸, 提供完整且多元的資料儲存服務。

● 2018年起建置資料市集, 供資料分析所屬研究使用。

✓ 遠近全國學術領域共同大資料儲存資料平台, 資料資料共用, 研究成果分享之效益

✓ 電單車國內科學、遙測測量、防災、地科、高景像、人文資料等30餘重要計畫

✓ 備有各類衛星圖、太空中心衛星圖、中研院建設等資料, 為國家重要資料提供保障。

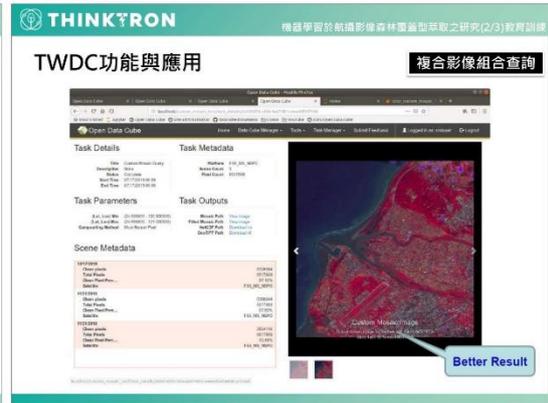
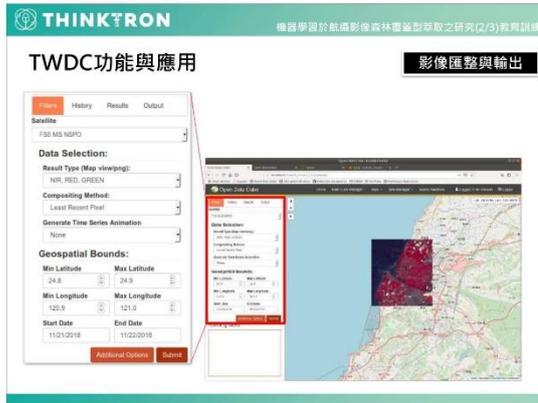
THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC功能與應用

資料時空範圍查詢與管理

已匯入資料空間範圍

福衛五號資料空間範圍



THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC 案例介紹

Sentinel-1 淹水偵測

福衛五號影像除雲

Sentinel-2 多時期水稻偵測

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC功能小結

資料時空範圍查詢與管理	<ul style="list-style-type: none"> 影像查詢 資料型別管理 影像記錄編修
影像匯整與輸出	<ul style="list-style-type: none"> 影像查詢結果匯出 複合影像產生與匯出(複合方式可選擇) 多時期影像物件特異查詢
基本分析應用	<ul style="list-style-type: none"> 光譜指標計算及整合分析 NDVI, NDWI, NDBI,
客製化分析應用	<ul style="list-style-type: none"> 可按需求功能進行開發客製化功能 WEB UI Development Python Scripting

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC 案例介紹

透過FS-5進行水稻田區域偵測

- 應用影像變遷偵測技術
 - 台灣中部地區之水稻耕作區域在冬季進行整地並且於春季進行放水與播種工作
 - 部分農地為增進農地肥沃程度，以施用綠肥方式進行農地改良。
- 測試資料
 - FORMOSAT-5衛星影像:
 - 冬季: 2018/12/17
 - 春季: 2019/03/01
- 使用影像處理方法
 - 影像光譜向量變遷偵測法
 - 偵測變遷區域
 - 植生指數
 - 偵測前期影像是否具有植生或裸露地
 - 水域指數
 - 偵測後期影像是否為水域

有植生區域之水位位置 無植生區域之水位位置

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

TWDC整體效益

資料管理便利

- 多元衛星資料控管容易、查詢方便。
- 客製化衛星資料格式導入流程建置，由Data Cube 整合控管專屬資料。
- Data Cube 平台多元衛星整合、查詢、分析和下載功能。

提升資料分析效率

- 透過開發環境建立專屬分析模式，建立屬於自己的Data Cube。
- 開發分析模式和Data Cube UI 連結，有效達到快速分析結果。

加速決策流程

- 透過即可分析資料，快速分析資料轉化成決策資料後，並可有效提升決策效率

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

應用TWDC進行遠端線上分析

可建置客製化分析模組

- 不須下載原始資料直接在遠端完成分析
- 僅下載分析結果提高整體效率

遠端客製化分析模組

遠端使用者分析介面

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

現階段國際遙測資料倉儲情勢

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

地球的總面積： $51 \times 10^8 \text{ km}^2$

30+ 年 · 10950+ 天



追溯過去 了解現況 預測未來

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

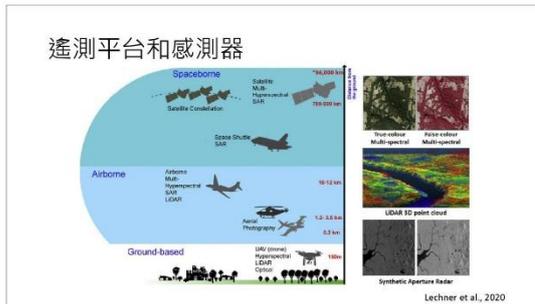
OPEN DATA CUBE

A free & open data architecture for increasing the value and global impact of satellite Earth observations.

技術研發部
三課 (遙測技術與AI解決方案)

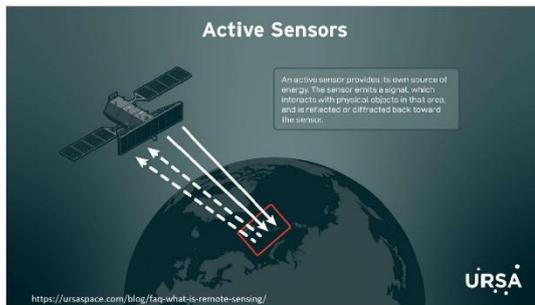
張淵翔 分析師 THE GLOBAL GOALS

Thanks
enrique@thinktronltd.com



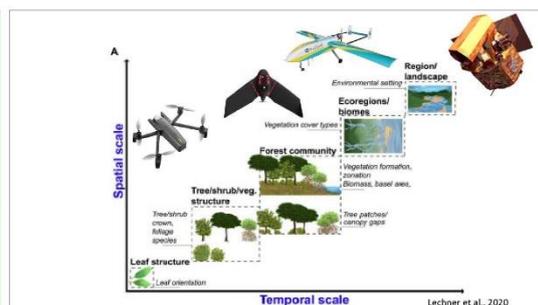
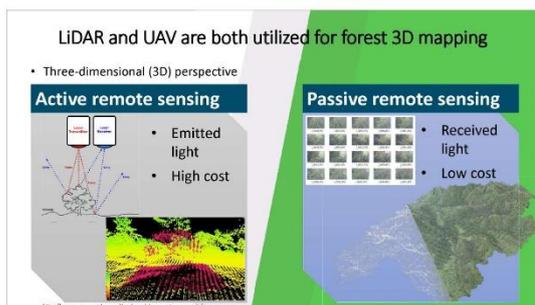
森林管理之應用

- 量化森林特徵對於瞭解森林生態系統功能、生態過程相當重要。
- 遙測在森林生態管理中，有多種應用，包括測量植被覆蓋、植被結構、生物多樣性、植被水分和土壤特徵。
- 運用遙測分類森林或樹種，對於掌握植物資源、保育植物群落與維護生態系統是永續經營相當工作之一。
- 有效率的掌握樹木數量、樹幹斷面積和木材蓄積量，對於瞭解森林所能提供的生態系服務功能是重要的基礎資訊。
- 遙測資料可以提供長期森林監測資料，運用遙測技術測量土地利用和土地覆蓋變分類及各種森林特徵的變化，對於瞭解短期（即火災）和長期（即氣候變化）的地球碳循環系統動態和人為影響很重要。



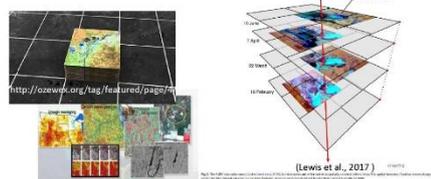
遙測平台選擇

- 選擇遙感系統通常是空間、時間和輻射解析度之間權衡的結果
- 對於許多應用來說，選用航測/無人機相對便宜，但在中小尺度可以創建高解析度的正射影像
- 大尺度空間的影像，使用免費遙測影像或購買高解析度影像（例如 WorldView 3，31cm），可能較為更有效率，同時可以獲取光譜解析度。
- 選擇的關鍵，必須要先瞭解所設定的遙測目標（例如，生態現象），所需要的時間與空間尺度，並與遙測系統的尺度匹配與確定。



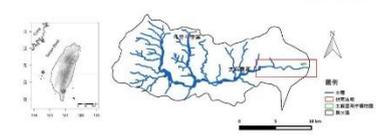
精確且具時間軸的資料

- 精確的遙測資訊與時間資料，對於評估植被的狀態與發展是相當重要，更是監測土地利用變遷不可或缺(Rodrigues2014)。



研究區域

- 太麻里溪流域(約 23022 公頃, black area)
- 太麻里溪中下游地景監測
 - 研究區域約2110 公頃(red area,2幅航照的範圍)
- 植被回復的趨勢
 - 太麻里海岸植物園(22°35'53" N,120°59'58" E, green area)



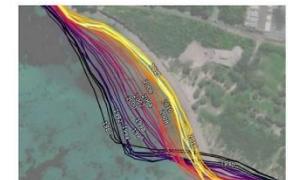
The time series data -> Trend

Explore imagery on a map

See more than 30 years of landscape change

For decades satellites have been capturing imagery of Australian landscapes. Digital Earth Australia (DEA) corrects, curates, and makes this image data freely available on the interactive DEA Maps.

1. Go to DEA Maps
2. Go to 'Explore map data'
3. Select year data product
4. Add to the map

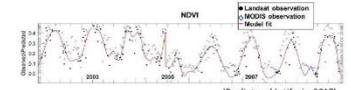


NDVI trend

- NDVI 是遙測分析中被廣泛應用在許多領域植被指標之一，用以量化植被狀態，並與植物光合作用能力及冠層能量的吸收有直接的相關性 (Sellers, 1985)。
- NDVI是以紅光波段(RED band)與 近紅外光波段(NIR band)計算 (Rouse et al., 1974)。

$$NDVI = \frac{(P_{NIR} - P_{RED})}{(P_{NIR} + P_{RED})}$$

- NDVI 在冠層愈密的植被容易產生飽和有些限制，但其簡單計算，所以配合迴轉模式，觀察風災後NDVI~Time的斜率(after 2009.8)，初步作為瞭解植被回復情形的速率趨勢。



(Poulliot and Latifovic, 2017)

太麻里海岸植物園

- 莫拉克颱風 (6-10 Aug 2009)
- 太麻里海岸植物園被沖毀。
- 自1959-2009年以來創臺灣所有氣象站中單日最大雨量紀錄(屏東尾寮山1403mm)。
- 造成681人死亡、18人失蹤、農業損失超過新台幣195億元。



NDVI between Landsat 7 & 8

- 為了減少Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI 兩種感測器所計算的NDVI差異，使用Roy et al.(2016)所提出的校正公式：
- $NDVI_{L8} = 0.0235 + 0.9723 \times NDVI_{L7}$
- $NDVI_{L8}$:NDVI of Landsat 8
- $NDVI_{L7}$:NDVI of Landsat 7

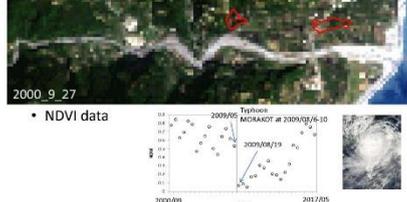
點分析 NDVI restorative trends analysis



- 太麻里海岸植物園
- 三種土壤條件
 - (a)堆積區 (deposits soil)
 - (b)造林區 (plantation)
 - (c)新成土 (entisol)
- 經營模式
 - (a)植被回復良好-自然回復
 - (b)植被回復不良-造林
 - (c)植被回復不良-未處理

結果

- The landscape change from 2000.9 to 2017.5



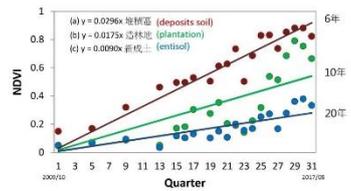
- NDVI data

莫拉克風災後



20090822 拍攝後

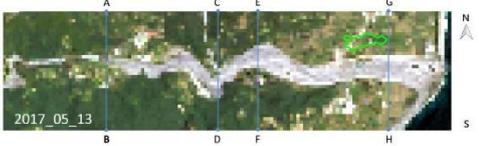
The linear regression



$(a) y = 0.0296x$ 堆積區 (deposits soil)
 $(b) y = 0.0175x$ 造林區 (plantation)
 $(c) y = 0.0090x$ 新成土 (entisol)

6年, 10年, 20年

線分析 水道寬度的變化



2017_05_13

- 選取4處的河道進行監測，繪製時空分析圖 (spatio-time plot analysis)

NDVI Spatio-time plot analysis

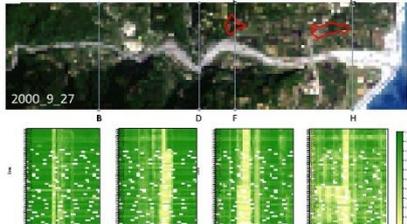


圖 分析 像元(pixel)變動偵測

- 將每一期每一個像元(pixel)的NDVI數值分為三類
- 並計算類別改變的次數
- NDVI數值的所代表的植被狀態(Weier and Herring, 2000)
- 裸土或水體(bare ground and water bodies):
 - NDVI ≤ 0.1
- 森林(forest):
 - NDVI > 0.6 near to 1
- 稀疏的植被或草原(Sparse vegetation of grassland):
 - NDVI 在裸土-水體及森林之間

機器學習-植被分類-禁伐補償
植被區(完整覆蓋)

17年平均NDVI 與改變的次數

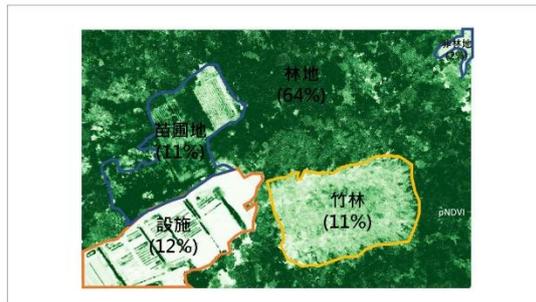
- 人類活動區域 (橘黃色→紅色像元)
- 淺藍色與藍色區域是17年平均NDVI較低的範圍可能代表是洪氾區(可能是土壤、水體或草原)
- 綠色是森林區域

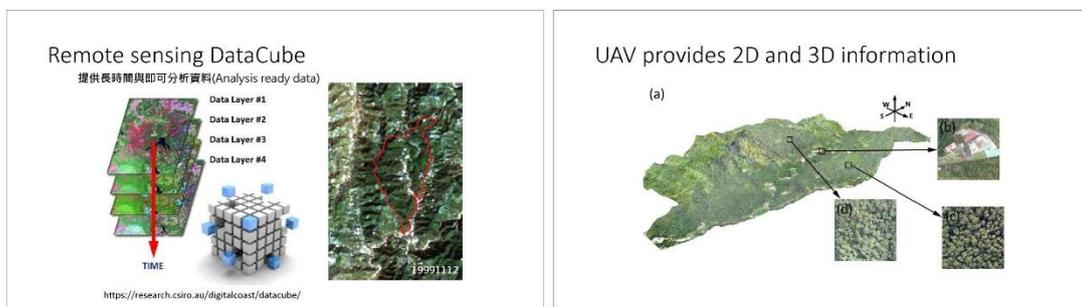
非植被區(未有植被覆蓋)

遙測技術於禁伐補償林分覆蓋量化應用

Source:新竹縣政府

道路用地



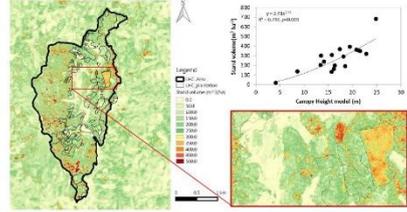


材料與方法

- 遙測分析
 - 植生指標
 - 光譜混合分析
- 統計分析方法
 - 資料常態性檢測
 - 空間自相關分析 (~iid)
 - 自助空間隨機取樣
 - 直線迴歸與非線性迴歸
 - 驗證分析




UAV-蓄積量推估式



SMA Theory 光譜混合分析

The assumption behind linear mixture modeling approaches is that total reflectance is the sum of reflectance for each cover type, weighted by their fractional presence within each pixel.

$$\sum_{i=1}^n \rho_{ij} C_i = \rho_j + \epsilon_j$$

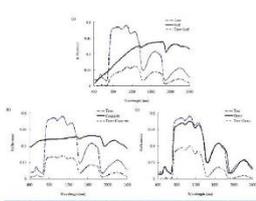
$$\sum_{i=1}^n C_i = 1.0$$

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \dots & \rho_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{m1} & \dots & \rho_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \vdots \\ \rho_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \vdots \\ \epsilon_m \end{pmatrix}$$

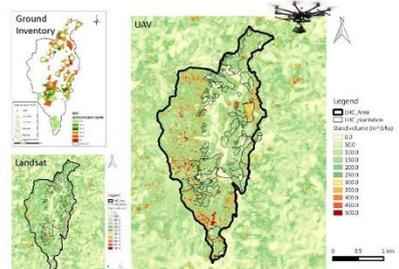
or

$$A \cdot C = R + \epsilon$$

Where A is a matrix containing the endmembers' reflectance and a ones column, C is a vector of unknown fractions, R is the vector of observed reflectance, with a one added to constrain the fractions to sum to unity, and ϵ is a vector of band residuals.

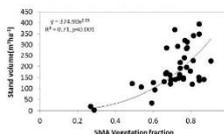


(Yang and Kondoh, 2017)

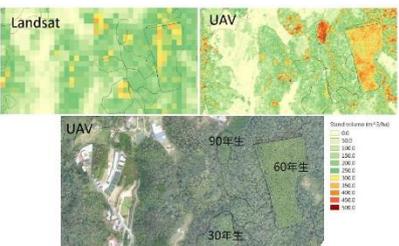


迴歸分析結果

	Linear regression model	R ²	p value	Non Linear regression model	R ²	p value	MAPE
NDVI	Y = -761.3 + 1105.2 * X	0.37	<0.001	Y = 504.22 * X ^{0.548}	0.63	<0.001	33.8
SAVI	Y = 22.8 + 37.5 * X	0.30	0.002	Y = 37.38 * X ^{1.02}	0.60	<0.001	51.3
SAWI	Y = 7.0 + 28.3 * X	0.45	<0.001	Y = 31.41 * X ^{0.94}	0.67	<0.001	30.1
SMA Vegetation fraction	Y = -141.0 + 469.5 * X	0.44	<0.001	Y = 374.90 * X ^{0.70}	0.71	<0.001	24.4



應用遙測於推估人工林蓄積量研究



Pearson correlation

- 分析12個 UASs樹冠高度參數與林分特徵值
- 相關性強度
 - $r < 0.3$ 相關性微弱或沒有相關;
 - $0.3 < r < 0.5$ 弱度相關;
 - $0.5 < r < 0.7$ 中度相關;
 - $r > 0.7$ 高度相關。

<https://mathbitsnotebook.com/Algebra1/Statistics/Alg1S12CorrelationCoefficientB.html>
<https://psychopedia.wikispaces.com/Correlation+Coefficient>

各區規劃面積
 遊憩區 約213公頃
 林木適應經濟區 約600公頃
 長以湖遊樂區 約110公頃
 生態廊道面積約400公頃

圖例
 高程
 0
 10
 20
 30
 40
 50
 60
 植被指數
 eco_pbi
 土壤濕度
 土壤含水量
 土壤溫度

The relations between CHM and species diversity

UASs CHM point cloud data 計算
成 12 個樹冠高度參數:

- Mean CHM
- minimum CHM
- Maximum CHM
- Standard deviation
- Covariance
- 25th percentile
- 50th percentile
- 75th percentile
- Kurtosis
- skewness
- Weibull 2 parameters

Variables: species diversity, Mean CHM, Minimum CHM, Maximum CHM, Standard deviation, Covariance, 25th percentile, 50th percentile, 75th percentile, Kurtosis, skewness, Weibull 2 parameters.

Pearson correlation: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1

與興創知能合作 運用AI判釋航照樹種

訂定森林調查計畫
 全幅森林資源調查
 影像判釋
 AI判釋航照樹種
 林分調查報告

花蓮大農大富

- 1999-2017

Length: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8

- THANKS
- Q & A

<https://ppt.cc/fB3Ygx>

六、AI 的基礎及領域應用結合 黃梓育 AI 演算法工程師

THINKTRON 110年11月 4日
【2021年 教育訓練】

Geo-AI
AI的基礎及領域應用結合

技術研發部 THE GLOBAL GOALS
三課 (遙測技術與AI解決方案)
黃梓育 演算法工程師

THINKTRON

何謂人工智慧？

THINKTRON

講者簡介

黃梓育
AI演算法工程師
davidhuang@thinktronltd.com

專案經歷

- 醫學影像語意分割應用研究
- 出口貿易業務系統ETP軟體產品開發
- 基因與疾病管理平台 - IKnUG
- 桃園市政府 區域環境降溫預報 應用研發
- 旅遊語音機器人服務開發
- AI領航計畫

榮譽

- 108年度亞洲資料創新應用大講台 台灣研發獎
- IJSEAsia2018 Best Paper Award

其他

- Variational Grid Setting Network, IALP, IEEE Conferences 2018

經歷

- 國立台灣大學工業工程研究所碩士
- 國立政治大學應用數學系學士
- 國立政治大學資訊管理學系學士(雙)
- 國立政治大學數位理資訊學程

THINKTRON

何謂人工智慧？——電腦科學的一個領域

THINKTRON

Outline

背景 何謂人工智慧？為何會用到人工智慧？

現在 人工智慧於影像上的應用
空間資訊導入AI辨識及輔助影像對位

未來 未來發展與應用

結論

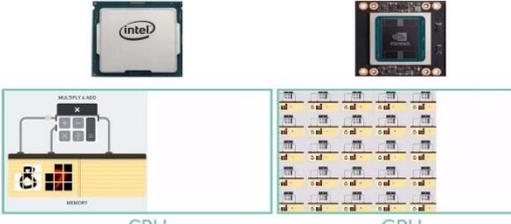
THINKTRON

何謂人工智慧？——主要應用方式

資料是通過感測得到的數字性的特徵或資訊
是一組關於一個或多個人或物件的定性或定量變數

THINKTRON

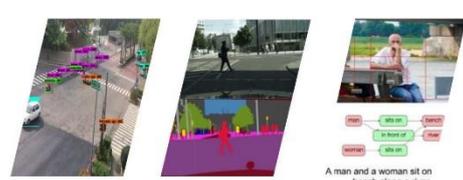
何謂人工智慧？——技術發展帶來的資料成長



CPU GPU

THINKTRON

影像資訊之人工智慧常見應用

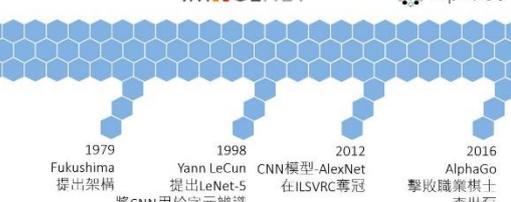


物件偵測問題 Object Detection
語意分割問題 Semantic Segmentation
場景分析 Scene Understanding

THINKTRON

何謂人工智慧？——神經網路的興起

IMAGENET AlphaGo



1979 Fukushima 提出架構
1998 Yann LeCun 提出LeNet-5 將CNN用於字元辨識
2012 CNN模型-AlexNet 在ILSVRC奪冠
2016 AlphaGo 擊敗職業棋士 李世石

THINKTRON

建立人工智慧相關服務的流程



Configuration Data Collection Data Verification Machine Resource Management ML Code Analysis Tools Feature Extraction Process Management Tools Serving Infrastructure Monitoring

資料採集 資料處理 模型建立 模型訓練 實時驗證及產出 模型部署 預測應用 服務監控

Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems
D. Sculley, Gary Holt, Daniel Golubov, Eugene Doydox, Todd Phillips

THINKTRON

人工智慧於影像上的應用



THINKTRON

建立人工智慧相關服務的流程

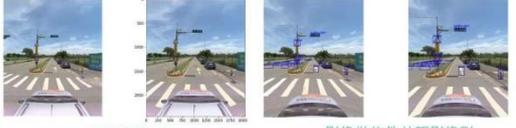


- 資料蒐集**
 - 原始資料採集
 - 資料彙整及清理
 - 標記所需目標
 - 資料前處理
- 模型訓練**
 - 模型選擇及建立
 - 模型訓練
 - 資料驗證
- 模型產出**
 - 測試模型結果
 - 服務部屬應用
 - 反饋模型訓練
 - 更新資料或模型

THINKTRON

影像校正+特徵匹配+物件辨識

讀取原始影像 物件辨識結果示意



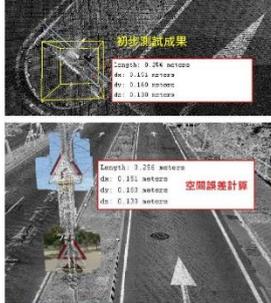
內方位校正 影像做物件共軛影像對



THINKTRON

攝影測量+人工智慧初步成果

- 空間誤差較大，僅能輔助數位化人員提升圖樣判斷與數位化工作
- 未來擬導入雙目相機採圖，增加定位精準度。



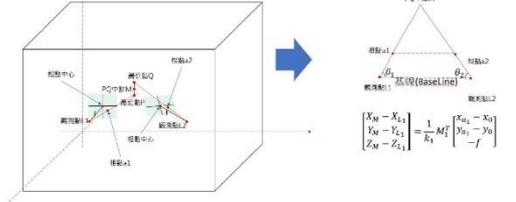
THINKTRON

重疊相片之幾何性質+三角測量

$$\begin{bmatrix} X_{A1} - X_{A0} \\ Y_{A1} - Y_{A0} \\ Z_{A1} - Z_{A0} \end{bmatrix} = \frac{1}{f_1} M_1^T \begin{bmatrix} x_{a1} - x_{o1} \\ y_{a1} - y_{o1} \\ -f_1 \end{bmatrix}$$

x_{a1} : 影像點
 y_{a1} : 影像點
 z_{a1} : 影像點
 x_{o1} : 物點
 y_{o1} : 物點
 z_{o1} : 物點
 f_1 : Focal Length

POE (Point of Error)



$$\begin{bmatrix} X_{A1} - X_{A0} \\ Y_{A1} - Y_{A0} \\ Z_{A1} - Z_{A0} \end{bmatrix} = \frac{1}{f_1} M_1^T \begin{bmatrix} x_{a1} - x_{o1} \\ y_{a1} - y_{o1} \\ -f_1 \end{bmatrix}$$

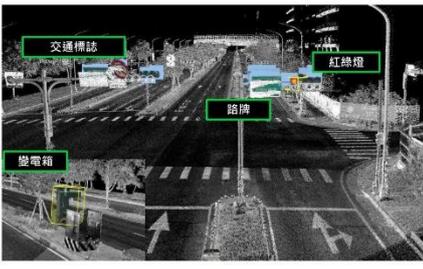
THINKTRON

嘗試結合電腦科學下各種領域的方法都可能是是一個新的發展方向。

結合領域專業知識才能使人工智慧越來越完善。

THINKTRON

攝影測量+人工智慧初步成果



THINKTRON

技術研發部 三課 (遙測技術與AI解決方案)

黃梓育 演算法工程師



THINKTRON

Thanks

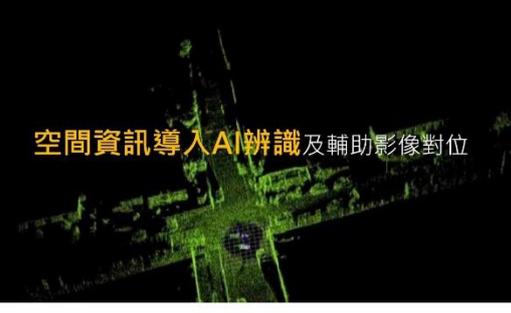
THE GLOBAL GOALS For Sustainable Development

THINKTRON



技術研發部 三課 (遙測技術與AI解決方案)
黃梓育 演算法工程師 THE GLOBAL GOALS
Q&A

THINKTRON



空間資訊導入AI辨識及輔助影像對位

THINKTRON

THINKTRON

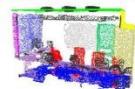
- 點雲；透過測量光束從物體返回所需的時間，建立空間的測繪圖



Point Cloud



物件分類問題
Classification



點分類問題 / 語意分割問題
Semantic segmentation

THINKTRON

The fastest is not necessarily the best



- Foreign fields open dataset
- Pros: Not need to collect
- Cons: Not match domestic
- Label for service !
- Be careful License...

Google Maps/Google Earth Additional Terms of Service

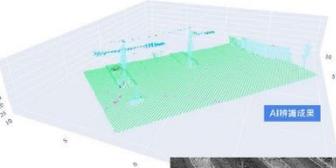
2. **Prohibited Content.** Your compliance with these Section 2 is a condition of your license to view Google Maps/Google Earth. When using Google Maps/Google Earth, you may not or allow third parties to do any of the following:

1. reproduce or sell any part of Google Maps/Google Earth or create a new product or service based on Google Maps/Google Earth (unless you use the Google Maps/Google Earth API in accordance with their terms of service);
2. copy the content (unless you are otherwise permitted to do so by the licensor, Google Maps, Google Earth, and Street View) for commercial purposes or to create a new product or service based on the content;
3. make a download or create a new product or service based on the content;
4. use Google Maps/Google Earth or create or engage in any other manner prohibited content (including a trademark) without the prior written consent of Google; and
5. use any part of Google Maps/Google Earth or create or engage in any other manner prohibited content (including a trademark) without the prior written consent of Google.

Src: https://maps.google.com/help/terms_maps

THINKTRON

點雲物件AI辨識



AI辨識結果



點雲物件AI辨識結果



THINKTRON

高精地圖資料採集技術的擴散應用 製圖與快速更新

零售配送
精準配送
零售管理

防災救災
各種災害
評估管理

交通管理
路側設施
盤點管理

土木營建
道路鋪面
損壞管理

THINKTRON

點雲資料的極限

Jittering Objects
Missing point
Long time parking

THINKTRON

高精地圖資料採集技術的擴散應用 以盤點道路老化狀況為例

日本保險公司將收集道路老化數據出售給自治體

2020/10/26

日本三井住友海上火災保險公司將啟動一項業務，把行車記錄儀的影像應用於基礎設施檢測。採用人工智慧 (AI) 技術來檢測和統計道路的老化數據，將其出售給地方政府。將向協助提供數據的企業提供汽車保險費折扣，以收集大量數據。這是該公司在日本放寬規定允許保險公司出售數據後開展的第一項業務。

日本修改了保險業法的部分內容，自5月起允許保險公司向外部提供從客戶那裏收集的數據。保險公司在事故和災害等方面積累了大量數據，預計運用這些數據的業務今後將會擴大。

三井住友海上火災保險將利用與汽車保險配套提供給企業的行車記錄儀來收集道路數據。使用記錄儀發送的影像，採用AI技術在雲端分析道路的受損情況。根據位置信息，在地圖上標出危險的地方和需要整修的地方，並有提供給地方政府等。

THINKTRON

點雲特徵截取

- 交通標誌屬性
- 標誌座號
- 標線位置資訊
- ...

THINKTRON

結論

原有流程	測繪業蒐集各種影像及點雲資訊	人工數化物件輪廓	找尋對應環景影像及相關物件資訊	人工填入物件類別及物件屬性
現有流程	測繪業蒐集各種影像及點雲資訊	點雲物件邊界萃取輔助數化	鄰近影像擷取及影像物件辨識	以分類結果輔助人工填入物件類別及屬性

以信義路場域為例	原有流程	現有流程
桿狀物	13.7 小時	6 小時
影像辨識之標誌	32 小時	16 小時

- 降低人工數化成本
- 減少尋找對應影像時間
- 交通物件自動截取

七、深度學習技術概論及其應用 李冠澄 AI 演算法工程師

THINKTRON 110年11月04日
機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習技術概論及其應用

技術研發部
三課 (遙測技術與AI解決方案)
李冠澄 工程師

深度學習是什麼

- 矩陣乘法
- 微積分

Convolution as Matrix Multiplication (1D Example)

We represent convolution as matrix multiplication:

$$Z = X * K$$

Consider the template pattern in the input image:

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 5 \\ 5 & 6 \\ 6 & 7 \end{bmatrix}$$

Other notes: Convolution is commutative, and the output size is $(M - K + 1) \times (N - K + 1)$.

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

大綱

- 壹、深度學習是什麼
- 貳、不同的深度學習的領域和設計
- 參、深度學習的聖盃
- 肆、Q & A

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習是什麼

- 矩陣乘法
- 微積分

Initial weight

Gradient $\frac{\partial L}{\partial W}$

Minimum Cost $\frac{\partial L}{\partial W} = 0$

Weight

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習是什麼

大眾以為的深度學習

其他媒體認知的深度學習

我以為的深度學習

實際上的深度學習

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 30 \\ 40 \\ 50 \end{bmatrix}$$

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習是什麼

- 記憶
- 學習、舉一反三
- 搜尋「上帝的方程式」

training

studying

learner

output

evaluation

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習是什麼

- 記憶
- 學習、舉一反三
- 搜尋「上帝的方程式」

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

- Computer Vision
CNN

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習是什麼

- 記憶
- 學習、舉一反三
- 搜尋「上帝的方程式」

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域

- Computer Vision

1. Image Classification
2. Object Detection
3. Segmentation

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

- Computer Vision
CNN, Transformer
- Seq2seq (Time Series, NLP, NLU)
RNN, LSTM, Transformer
- GAN
CNN, RNN, Transformer
- Reinforcement Learning

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

- Seq2seq
- RNN, LSTM, Transformer

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

- Seq2seq
- NLP: GPT-2 with 1.5 billions parameters.
- GPT-3: 175 b
- GPT-4: 10e+5 b

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

5. Scenario Reconstruction

Building a Pipeline to Replicate Scenarios & Environments Anywhere a Tesla Vehicle Has Driven

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

不同的深度學習的領域和設計

- GAN 生成對抗網路

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習的聖盃 - 通用人工智慧

- 知道自己看見東西 - Computer Vision
- 理解自己看到的東西 - Computer Vision, NLP
- 說出自己的理解 - NLP
- 能夠想像沒看過的東西 - GAN
- 能夠按照反饋學習 - Reinforcement Learning

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習的聖盃 - 通用人工智慧



AI could be one of humanity's most useful inventions

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

深度學習的聖盃 - 通用人工智慧



What if solving one problem could unlock solutions to thousands more?

THINKTRON 機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)教育訓練

Our intelligence is what makes us human,
and AI is an extension of that quality.

- Yann LeCun, 2018 Turing Award winner

技術研發部
三課 (遙測技術與AI解決方案)
李冠澄 工程師 

Thanks
guan8923@thinktronltd.com

附錄四、工作會議記錄

「機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)」工作會議 會議紀錄

壹、時間：110年06月01日星期二下午2時

貳、地點：Microsoft Teams 視訊會議

參、出席人員：農航所：鄧國禎、黃宗仁、郭宇文、蔡家銘

興創知能股份有限公司：鄭錦桐、王禹翔、吳笙緯、王選仲

宜蘭大學森林暨自然資源學系：鍾智昕

肆、紀錄：吳笙緯

伍、受委託廠商簡報：

就本案第2期工作項目執行情形如下：

一、資料蒐集與模式建構：

- (一) 已取得 2,133 幅 DMC 航攝影像與第四次森林資源調查檢訂調查圖資。
- (二) 基於正高與橢球高的差異，改採 TWD67 高程進行反投影。
- (三) 判釋模型擴充：樹種從 11 類擴充至 19 類，並新增林型判釋模型。

二、資源效能測試：

- (一) 彙整國內外常見雲端服務，並已取得國網中心一般企業之報價，將持續洽談取得較優惠之政府專案報價。
- (二) 原規劃前往農航所實際測試硬體效能，因受疫情影響暫緩。

三、效能提升方案：

- (一) 已增加 5 種光譜組合作為模型訓練資料使用，確實有達到優化成效。
- (二) 現已測試 FPN 對判釋模型優化程度，惟成果顯示並無有效提升。
- (三) 受航拍任務限制，有些月份或年份仍有影像缺失的情況，物候特性僅能以現有的影像分佈情況涵蓋。

四、自動化流程建置：

- (一) 已於 2 月 19 日進行第一次需求訪談，了解現行判釋作業流程。
- (二) 規劃以網格疊圖方式呈現模型判釋成果，輸出網格內容包含 3 種純林型辨識結果，讓作業人員可透過疊圖方式檢查既有圖徵屬性是否有誤。
- (三) 明年介面開發工作初步規劃整合既有林型圖框 SHP 檔，透過檢索圖

框範圍內涵蓋的林型分佈情況與佔比，以進一步協助作業人員快速確認林型屬性是否修正、圖框是否分割，然此規劃涉及系統介面等多項整合技術，如何具體落實應為明年度計畫之目標，團隊須持續與所內溝通確認。

五、已完成論文投稿至 ICEO&SI 研討會，並規劃教育訓練流程。

陸、討論事項：

一、本案是否因 Covid-19 疫情影響，而有執行上之困難，而有展延第 2 期履約時程之需求，提請討論。

說明：興創知能除原規劃前往農航所實際測試硬體效能及第 2 次需求訪談與詳細記錄作業流程之規劃，受疫情影響暫緩，其餘工作項目皆能持續執行。

決定：

(一) 實際測試硬體效能，待疫情趨緩後再行前往測試；請農航所會後提供工作站之細部硬體規格，以俾進行運算資源比較。

(二) 需求訪談與詳細記錄作業流程，受疫情影響暫緩，可能改以視訊訪談或待疫情緩解後再行前往。

(三) 上述工作項目非列於第 2 期工作項目，且興創知能皆能持續執行，無延第 2 期履約時程之需求，故請依契約之需求規範，於 6 月 10 日前繳交期中報告書。

二、有關銀合歡外來入侵種移除列入行政院重點項目，該如何運用本案機器學習建構之模型進行銀合歡樹種自動辨識，提請討論。

說明：針對特定樹種自動辨識之工作項目為係為 111 年之計畫目標之一，非本年度工作項目，興創知能建議另外以特定樹種方式，獨立訓練銀合歡樹種辨識模型。

決定：農航所已提供恆春半島銀合歡樹種圈繪之 SHP 檔及對應航攝影像，且，請興創知能可先進行規劃及測試獨立訓練銀合歡樹種辨識模型，作為明年度特定樹種判釋模型工項的先期研究與技術亮點。

三、有關增加測試影像種類一節，提請討論。

說明：有關 ADS 影像屬推掃式航攝影像，於測試使用、進行反投影等都與片幅式航攝影像原理有所不同；另 UAV 影像則須帶有外方位參

數才能進行反投影計算，且發現 UAV 影像進行 True Ortho 後樹木呈現常有扭曲之現象，反而增加辨識上之困難。

決定：

- (一) ADS 航攝影像之規劃，先改以正射影像先行測試，以增加時間維度的圖資，進行物候特性分析。
- (二) 所內預計於 7、8 月增加熊鷹無人機拍攝恆春半島銀合歡樹種之影像，該影像並會進行空中三角平差計算每幅影像之外方位參數，應可進行反投影之計算，待該影像取像及計算完成後再提供進行測試。如該影像因疫情以致無法及時提供，再另尋其他適合之雄鷹無人機影像進行測試。

柒、臨時動議：

- 一、由於部分樹種可學習之航攝影像較少，擬以增加時間維度的方式增加學習樣本，會後請與創知能整理須提供之相關範圍及清單，農航所再協助搜尋是否有其他年度之航攝影像。

捌、散會：下午 3 時 15 分。

擷取 Microsoft Teams 視訊會議畫面：



「機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)」需求訪談 會議紀錄

壹、時間：2021年7月30日上午10點

貳、地點：農林航空測量所

參、與會人員：(農航所)黃宗仁、蔡家銘、郭宇文
(興創知能)王選仲、吳笙緯

肆、訪談重點：

一、 介面設計

在輔助介面設計上，希望能直接顯示有變異的網格。原本規劃的輔助方法為透過網格呈現整張 DMC 影像的林型判釋成果，但判釋人員仍須逐一檢視是否有不同之處，若能直接顯示不同處(網格資料或 shp 都可)，將能有效提升檢訂調查作業速率。

二、 實務編修流程

在實務流程上，森林資源調查與檢訂調查是以專案為單位進行編修與更新，每個專案涵蓋範圍為 1/5000 地形圖(如圖 1)，每 5 年更新一次。圖 1 中粗框選取的範圍為農航所負責判釋的區域，由農航所的專案管理人員選取欲更新之專案，此時被選取的專案會變成藍色，其周圍 8 格會變成紅色無法更新，此舉是為了避免同時更新造成無法對位的情況。在專案管理人員選定專案並下載檔案後，交由影像處理人員從新一期的影像中篩選出無雲的 5 張 DMC 影像，組成 4 組影像對，而在組影像對的過程中會將原始影像轉檔，顏色深度從 16bit 降至 8bit，並移除 NIR 波段以節省儲存空間，完成後便將影像對與前期林型判釋成果交至判釋人員手中進行編修更新作業(圖 2)。第四次森林資源調查的第一次檢訂調查於 109 年完工，第二次檢訂調查所使用之影像均拍攝於 109 年之後。而在編修作業上，除非遇到重大錯誤，不然通常僅做屬性上的編修與圖框分割，並不會另外調整圖框。

三、 輔助方法

本案的 AI 模型所產製的輔助網格，係用來輔助判釋人員，在流程上應與判釋圖資一併提供，減少判釋人員額外執行模型所花費時間，且由第 2 點可知，專案控管、影像對產製與林型圖判釋這三項工作分別由不同人執行，加上判釋使用的影像對為 8bit 顏色深度的 RGB 影像，與模型判釋使用的 16bit 顏色深度之 RGB+NIR 影像有所不同，故 AI 判釋模型擬規劃加在影像對產製的步驟，使提供轉檔後的影像對外，亦提供模型判釋成果網格。

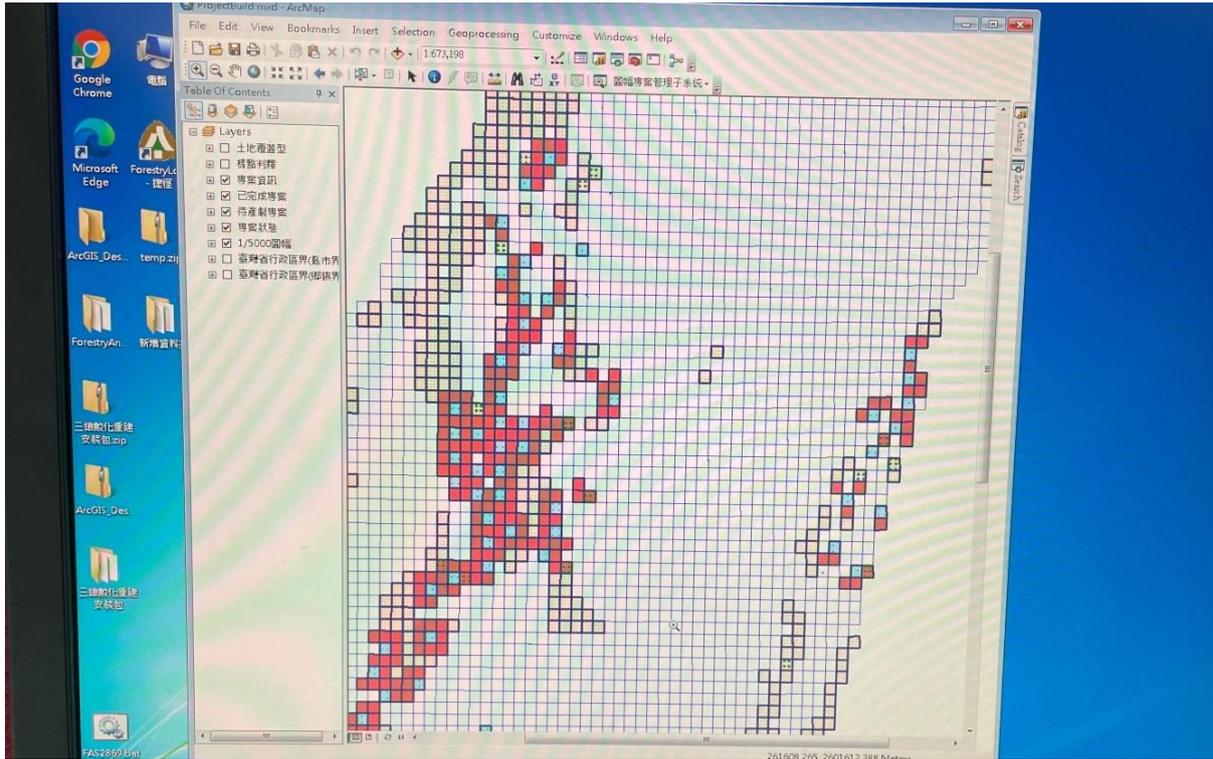


圖 1 1/5000 圖幅圈出的專案

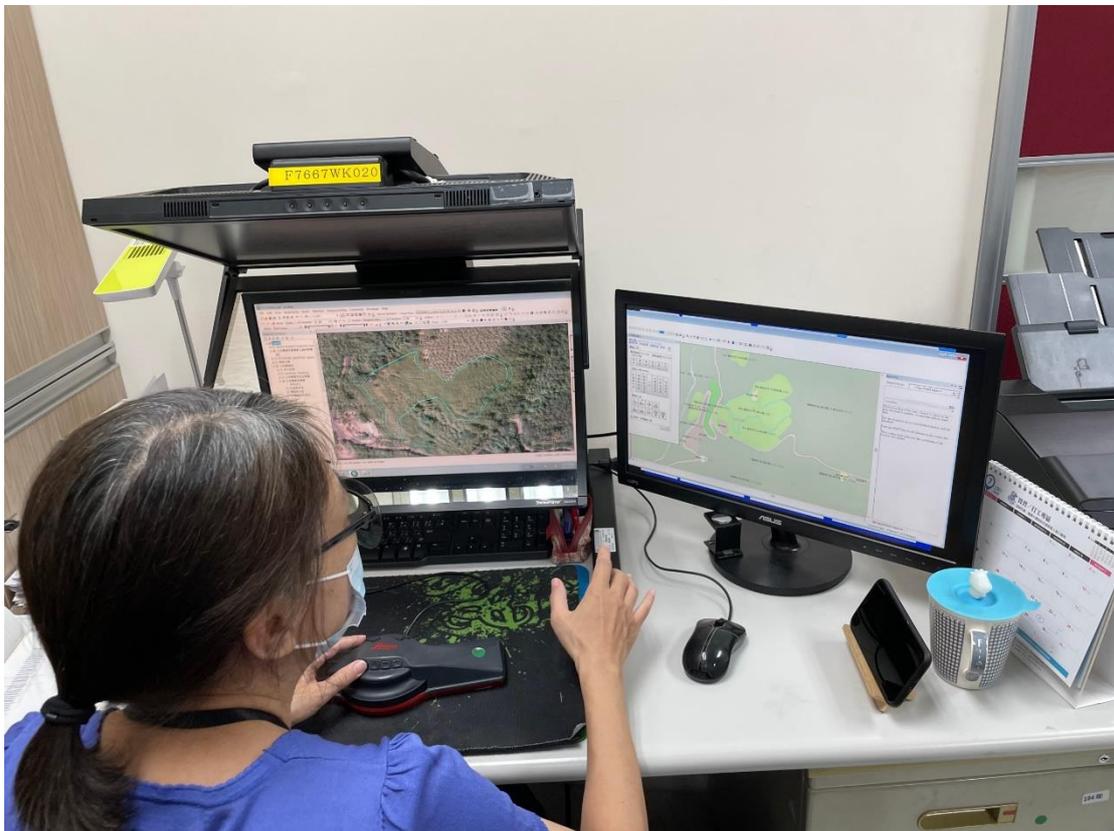


圖 2 利用立體對判釋林型組成並編修

伍、硬體效能測試：

一、 硬體測試

硬體測試結果如表 1，可發現除模型訓練與訓練資料產製外，其餘表現興創與農航所相差無幾，應可直接使用。

表 1 硬體測試項目與結果比較

測試項目	興創	農航所
產製地文因子	37.91 秒	46.7 秒
產製反投影對應 Index	27.33 秒	27.33 秒
反投影 label	4.61 秒	4.75 秒
產製訓練資料(影像切割、遮罩)	314.22 秒	416.71 秒
計算光譜組合指標	0.03 秒	0.03 秒
模型訓練時間(1 Epoch)	297.82 秒	332.43 秒

陸、散會：下午 12 點 30 分

「機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)」工作會議 會議紀錄

壹、時間：110年09月22日星期三下午2時

貳、地點：農航所1樓102會議室

參、出席人員：農航所：鄧國禎、黃宗仁

興創知能股份有限公司：鄭錦桐、王禹翔、吳笙緯

肆、紀錄：吳笙緯

伍、受委託廠商簡報：

就本案110年期中至期末階段工作項目執行情形如下：

一、資源效能測試：

已分別測試興創與農航所之硬體，測試各工具運作時間均有紀錄，建議加註說明測試方法與情境，並說明所裡現有硬體效能可符合模型運作之需求。

二、效能提升方案：

物候特徵測試以乾濕季統計評價表示。乾濕季之月份定義要再與鍾老師討論確認，並於下次工作會議提供分析結果，與所方研議模型對於乾濕季評價。

三、自動化流程建置：

輔助工具設計：提供網格大小為256×256 pixel且涵蓋整幅航攝影像的shp檔，其屬性資料包含每種分類的機率值(各林型+各樹種)、建議林型、建議樹種，以及與林型圖存在差異之提示。於下次工作會議將提供案例展示，並討論具體產出資訊該如何設計。

四、研討會投稿：

已確定以海報方式投稿至森林資源永續發展研討會(10/28~10/29於嘉義大學舉行)。

五、教育訓練：

規劃從下列 10/25、10/26、11/01、11/02、11/03、11/04、11/05 時間選擇一日。暫以視訊方式辦理教育訓練，內容包含本計畫開發之基礎知識、工具操作、模型設計、資料應用，實際時間與內容規畫將於下次工作會議確認。

陸、討論事項：

一、相關輔助工具開發後該由農航所統一操作或由林務局各林區管理處使用，提請討論。

說明：輔助工具需要一定的硬體效能，然並非所有單位都能配置相關硬體，故需決定輔助工具之使用時機。

決定：未來主要由農航所操作該軟體，產出相應的分析結果之圖資與立體像對專案一併提供給農航所及林務局各林區管理處之繪圖人員輔助檢訂作業。

二、單一銀合歡辨識模型是否必須於本年度(110年)完成，提請討論。

說明：銀合歡外來入侵種移除為行政院重點項目，本案於期中時提出以特定樹種之方式，獨立訓練銀合歡樹種辨識模型。

決定：請廠商評估實際工作量，務必以完成契約工項為優先，若期末前無法提前完成單一辨識模型，應具體規劃以呼應 111 年計畫特定樹種辨識之需求。

三、相關模型與工具建置完成後，要佈署的位置與後續維運更新尚無定論，提請討論。

說明：未來農航所將隨著飛機增加，大幅增加航拍工作並提升影像品質(DMC3)，如何更新模型與工具為一大問題。

決定：未來訓練模型之移交，廠商應持續與所內密集討論了解模型運作細節，配合所內評估獨立操作可行性，亦或規劃維運經費由廠商協助，配合所內共同思考巨量影像應用方案，加強航攝影像擴散影用效益。

四、有關模型準確度精進與未來資料集增加之優化方向，提請討論。

說明：本案雖為研究案，但成果若能導入實際應用，將有助於現行判釋流程，故回饋機制十分重要。

決定：請廠商研議如何導入專家輔助修正之具體方案，並納入 111 年計畫目標。

柒、臨時動議：

- 一、預定下次工作會議時間為 10/19。
- 二、於下次會議時將提供物候特徵分析結果、實際工具開發初步產出，並討論 111 年計畫工作規劃方向與未來影像應用解決方案。

捌、散會：下午 3 時 30 分。

「機器學習於航攝影像森林覆蓋型萃取之研究(2/3)」工作會議 會議紀錄

壹、時間：110年10月19日星期二下午2時

貳、地點：農航所3樓辦公室

參、出席人員：農航所：鄧國禎、黃宗仁

興創知能股份有限公司：鄭錦桐、魏擇壹、吳笙緯

肆、記錄：吳笙緯

伍、受委託廠商簡報：

就本案110年期中至期末階段工作項目執行情形如下：

一、效能提升方案：

物候特徵測試以乾濕季統計評價表示。乾濕季之月份定義參考鍾老師提供的台灣氣候分布，北部東部為全年溼季，中部南部為5至9月濕季、10至隔年4月乾季，經統計發現乾濕季對模型判釋結果影響甚微，可忽略不計。惟須注意在報告撰寫時要注意用詞與呈現方式，不要直接寫鍾老師說明跟數字(如簡報)。

二、自動化流程建置：

輔助工具設計：展示小工具所產出的判釋畫面。建議挑選林型較多且森林面積較大的區域(如南投山區)作為案例展示，避免挑選有邊界或是土地覆蓋型較複雜(如保安地、事業區等)的地方。

三、研討會投稿：

以海報方式投稿至110年森林資源永續發展研討會(10/28~10/29於嘉義大學舉行)，興創將派員1名與會，研討會報到時間為早上8:10至8:40，表定海報介紹時間為10/28中午12:00至下午2:00。

四、教育訓練：

將於11/04以線上會議方式辦理教育訓練，內容包含本計畫開發之基礎知識、工具操作、AI演算法技術與資料應用等。須於11/2前提供農航所教育訓練要用的投影片，並確認會議使用軟體Teams可正常運作。

陸、討論事項：

一、輔助工具能否提供更小單元的判釋成果如 128×128 pixel 或 64×64 pixel 等，提請討論。

說明：更細緻的判釋成果，能提供判釋人員更多資訊參考。但將單元切的更小所花費時間更多(指數成長)，且切得太小可能會喪失林型的紋理，導致判釋成效不佳，再加上若切得太細，判釋人員也無法確認模型判釋成果是否正確，使此模型失去最初的功用。

決定：單元大小維持 256×256 pixel，分析結果之圖資與立體像對專案一併提供給農航所及林務局各林區管理處之繪圖人員輔助檢訂作業。

二、依照委員建議，本案將聘請一測量顧問，相關人選提請討論。

說明：委員人選包含政大地政的詹進發教授、成大測量的尤瑞哲教授與交大土木的劉進金博士。

決定：考量到本案的委員有政大教授與成大教授，因避嫌問題，最終決議請劉進金博士擔任本案測量顧問。

三、相關模型與工具建置完成後，如何整合進既有流程，提請討論。

說明：既有的檢定調查系統是基於 ArcGIS 程式操作，相關圖資為 8bit 顏色深度的 RGB 航攝影像和立體像對，與模型所需影像不符；且判釋模型也要設計更新流程，不能一直維持原樣。

決定：需於第三年計畫提出檢訂調查流程規劃，並提供流程圖、程式介面等說明，且設計專家回饋等機制，讓模型達成滾動式更新。並在教育訓練時進行此程式的教學。

四、有關第三年特定物種的模型訓練規劃，提請討論。

說明：對特定物種的模型訓練，是希望能夠萃取出特定物種(如銀合歡)的分布位置，以利後續行動，故特定物種的判釋十分必要。

決定：考量到第三年重點為將模型工具整合進既有流程並實際運作，特定物種規劃銀合歡一類即可。

柒、臨時動議：

一、測試小工具在農航所電腦的運作情形，初步發現尚有一些 bug，會在更新修正後提供給農航所再次測試。

捌、散會：下午 4 時 30 分。