

國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處  
107年度委託計畫

「利用無人飛行載具(UAV)  
調查棲蘭山森林資源」委託研究案  
研究報告

主辦機關：國軍退除役官兵輔導委員會榮民森林保育事業管理處

執行機關：自強工程顧問有限公司

計畫主持人：蔡欣達 測量技師

協同主持人：李明軒 測量技師

中華民國 108 年 3 月



# 「利用無人飛行載具(UAV)調查棲蘭山森林資源」

## 委託研究案

### 摘要

本次工作範圍橫跨棲蘭森林遊樂區、明池森林遊樂區、棲蘭神木園、130 線、170 線林道與 160 線林道沿路特色地點，各個地點皆保存了珍貴的原始森林資源。為了提升林區經營績效，森林資源調查是很重要的基礎。

退輔會榮民森林保育事業處(以下簡稱森保處)利用無人飛行載具(UAV) 調查棲蘭山森林資源，拍攝 8 處指定地點之 UAV 影像資料，將本次調查成果，整合森保處其他林區調查影像資料，建置網路展示平台供展示使用。

除此之外，近年無人飛行載具(UAV)科技日趨成熟，相關硬體及軟體效能持續進步。過去在觀測樹木生長情形以及森林內各種自然或人為的擾動情況作野外探勘時，在定位與交通這兩項因素上，必須耗費許多時間、人力及物力方可獲得觀測資料。如今依靠無人飛行載具(UAV)以可有效突破上述兩項因素限制，很快地獲取第一手的觀測資料，惟各種無人飛行載具(UAV)型式、感測器皆有不同，相對地擁有不同的飛行能力與造就不同的感測目標，所獲取的資料對於森林資源調查是是否能帶來實質的助益，是本案探討的目標。

本案使用特製三軸六旋之旋翼式無人飛行載具搭配全片幅單眼相機與被動型雲台；與市售備配有主動型三軸雲台的四旋翼式 DJI P4A 無人飛行載具在同一飛行高度拍照作比較，並共同探討不同型式的旋翼式無人飛行載具在森林資源調查上的優劣。

關鍵字：無人飛行載具、森林資源調查、網路展示平台



# 目 錄

目錄 .....	II
圖目錄 .....	III
表目錄 .....	VI
第一章 計畫目標 .....	1
1-1 計畫緣起與目標 .....	1
1-2 計畫範圍 .....	2
第二章 研究方法與步驟 .....	4
2-1 作業程序 .....	4
2-2 無人飛行載具設備 .....	5
2-3 相機系統 .....	7
2-4 720 度環景影像拼接標準作業流程 .....	10
2-4-1 拍攝影像 .....	10
2-4-2 接合影像 .....	11
2-5 建置網路展示平台 .....	12
第三章 研究成果 .....	15
3-1 地面環景拍攝成果 .....	15
3-2 空中環景拍攝成果 .....	33
3-3 無人飛行載具運用於森林調查可行性分析 .....	39
3-3-1 無人飛行載具比較 .....	39
3-3-2 森林調查的需求 .....	45
3-3-3 不同林區分級的拍攝需求 .....	47
3-3-4 綜合比較 .....	47
3-4 山區無人飛行載具拍攝作業標準作業流程 .....	52
3-5 網路展示平台 .....	53
3-6 Skyline 3D GIS 平台更新 .....	57
3-7 教育訓練暨成果發表會 .....	59
第四章 討論與建議 .....	61



## 圖 目 錄

圖 1-1	棲蘭山 .....	1
圖 1-2	拍攝地點位置 .....	3
圖 2-1	作業流程圖 .....	4
圖 2-2	三軸六旋翼無人飛行載具 ST-Y6 實機 .....	6
圖 2-3	ST-Y6 工作情形(飛手/ST-Y6/地面工作站) .....	7
圖 2-4	SONYα7R-II 全片幅單眼相機 .....	8
圖 2-5	修飾影像多餘部分示意圖 .....	11
圖 2-6	720 度環景拼接畫面示意圖 .....	12
圖 2-7	互動按鍵說明 .....	13
圖 2-8	空拍環景影像範例 .....	14
圖 2-9	照片連結於導覽平台 .....	14
圖 3-1	地面環景拍攝工作情形 .....	15
圖 3-2	棲蘭山莊 .....	17
圖 3-3	蔣公行館 .....	18
圖 3-4	林業史蹟文化園區 .....	18
圖 3-5	小泰山森林浴步道入口 .....	19
圖 3-6	小泰山森林浴步道出口 .....	19
圖 3-7	益壽橋 .....	20
圖 3-8	橋上亭 .....	20
圖 3-9	明池山莊神木 .....	21
圖 3-10	明池山莊餐廳 .....	21
圖 3-11	木屋 A .....	22
圖 3-12	木屋 B .....	22
圖 3-13	林間教室 .....	23
圖 3-14	慈孝亭 .....	23
圖 3-15	禪亭 A .....	24
圖 3-16	禪亭 B .....	24
圖 3-17	富春園 A .....	25
圖 3-18	富春園 B .....	25
圖 3-19	花亭 .....	26
圖 3-20	石庭 .....	26



圖 3-21	明池風景區.....	27
圖 3-22	池上亭.....	27
圖 3-23	經國木.....	28
圖 3-24	明池不滅榮光.....	28
圖 3-25	步道入口.....	29
圖 3-26	三代木.....	29
圖 3-27	橫倒三百年.....	30
圖 3-28	檜木的世界分布.....	30
圖 3-29	步道入口.....	31
圖 3-30	步道出口.....	31
圖 3-31	檜木林下的箭竹地毯.....	32
圖 3-32	兒時課桌椅的回憶.....	32
圖 3-33	空中環景拍攝工作情形.....	33
圖 3-34	棲蘭森林遊樂區.....	35
圖 3-35	溫泉會館.....	35
圖 3-36	棲蘭山莊.....	36
圖 3-37	林業史蹟文化園區.....	36
圖 3-38	明池神木.....	37
圖 3-39	明池湖左側.....	37
圖 3-40	明池湖右側.....	38
圖 3-41	明池神木等身照.....	38
圖 3-42	DJI P4A.....	41
圖 3-43	被動型雲台.....	43
圖 3-44	主動型雲台.....	43
圖 3-45	RIEGL VUX-1LR 空載光達.....	44
圖 3-46	無人飛行載具觀察臺灣檫樹生長情形.....	46
圖 3-47	鴛鴦湖地區森林孔隙無人飛行載具空拍影像.....	46
圖 3-48	「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台入口畫面.....	54
圖 3-49	「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台空中環景畫面.....	55
圖 3-50	「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台連結官方 YouTube 頻道.....	55
圖 3-51	Skyline 3D GIS 圖層整合能力一覽.....	57
圖 3-52	Skyline 3D GIS 平台整合.....	58
圖 3-53	105 年委託研究案成果.....	58



圖 3-54	106 年委託研究案成果 .....	59
圖 3-55	教育訓練暨成果發表會辦理情形.....	60



## 表 目 錄

表 2-1	ST-Y6 技術規格 .....	6
表 3-1	外業天氣紀錄表 .....	15
表 3-2	地面環景拍攝地點 .....	15
表 3-3	空中環景與影片拍攝地點 .....	34
表 3-4	無人飛行載具型式比較表 .....	39
表 3-5	無人飛行載具避障功能比較表 .....	44



# 第一章 計畫目標

## 1-1 計畫緣起與目標

本次工作範圍橫跨棲蘭森林遊樂區、明池森林遊樂區、棲蘭神木園、130 線、170 線林道與 160 線林道沿路特色地點，白天陽光照射，水氣由蘭陽溪谷上升，午後山區溫度漸降，水氣停滯形成雲霧帶，雲霧帶為涼爽多濕的環境，十分適合臺灣杉、鐵杉、紅檜與臺灣扁柏生長，保留了珍貴的原始森林資源。

本案利用無人飛行載具(UAV) 調查棲蘭山森林資源，預期目標為紀錄指定地點之空拍影像等基礎資料，供後續林業經營管理運用。

本案主要工作項目如下：

- 一、利用無人飛行載具(UAV)調查棲蘭山森林資源，拍攝 8 處指定地點之 UAV 影像資料，影像資料之有效像素須達 2000 萬。
- 二、將本次調查成果，整合森保處其他林區調查影像資料，建置網路展示平台由森保處展示使用。



圖1-1 棲蘭山



## 1-2 計畫範圍

本案計畫拍攝棲蘭山林區 8 處地點，位置與說明如下。

編號	地點	空拍距地高度	拍攝面積 (公頃)	備註說明
1	棲蘭森林遊樂區	50	20	闊葉樹林木約 20 多公尺，加計局部地形起伏及建物與遊憩設施，爰規劃以距地 50 公尺拍攝。
2	明池森林遊樂區	50	20	柳杉造林木約 20 至 30 公尺，明池神木約 30 多公尺，加計局部地形起伏及建物與遊憩設施，爰規劃以距地 50 公尺拍攝。
3	神木園	100	30	檜木樹高約 40 多公尺，惟地形起伏大及加計建物與遊憩設施，爰規劃以距地 100 公尺拍攝。
4	130 線 檜木小學堂	100	4	檜木樹高約 30 至 40 公尺，惟地形起伏大及加計遊憩設施，爰規劃以距地 100 公尺拍攝。
5	170 線 臺灣杉三姊妹	100	4	臺灣杉樹高約 70 公尺，加計局部地形起伏與森林，爰規劃以距地 100 公尺拍攝。
6	160 線 扁柏的故鄉	100	10	檜木樹高約 40 多公尺，惟地形略為起伏及加計遊憩設施與森林，爰規劃以距地 100 公



編號	地點	空拍距地高度	拍攝面積 (公頃)	備註說明
				尺拍攝。
7	臺灣檫樹人工林	50	4	臺灣檫樹人工林樹高平均 18 公尺，加計局部地形起伏，爰規劃以距地 50 公尺拍攝。
8	美檜人工林	50	4	美檜樹高約 20 至 30 公尺，惟地形起伏大，爰規劃以距地 100 公尺拍攝。

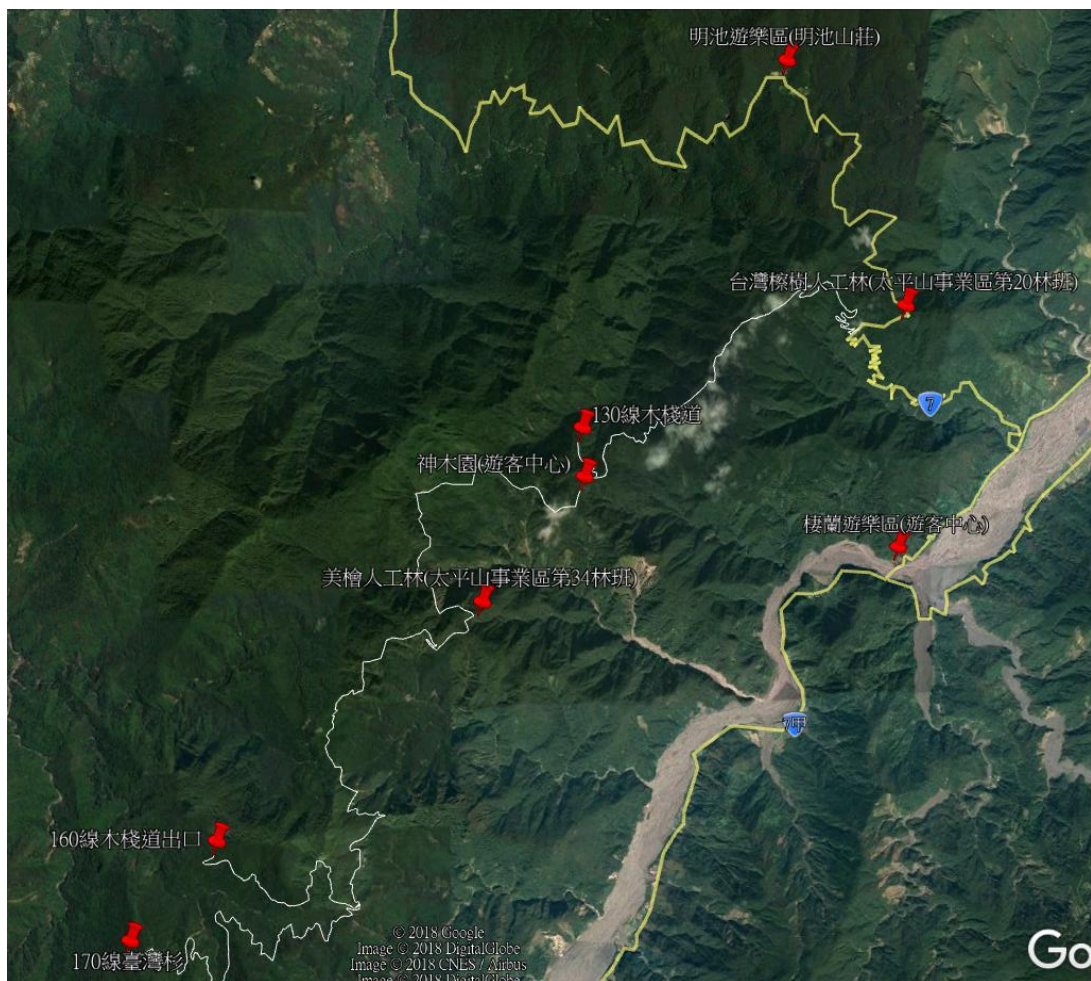


圖1-2 拍攝地點位置



## 第二章 研究方法與步驟

### 2-1 作業程序

本案採用三軸六旋翼無人飛行載具 ST-Y6 搭載最新 SONY  $\alpha$  7R-II 全片幅單眼相機執行拍攝任務，能於本案作業期間內，產製最高解析度達 4,240 畫素之空拍環景影像；除了完成本案需求之網路展示平台建置之外並加值同步更新森保處既有 Skyline 3D GIS 平台內容，使本案之成果得到更充分之運用。詳細作業流程圖如圖 2-1。

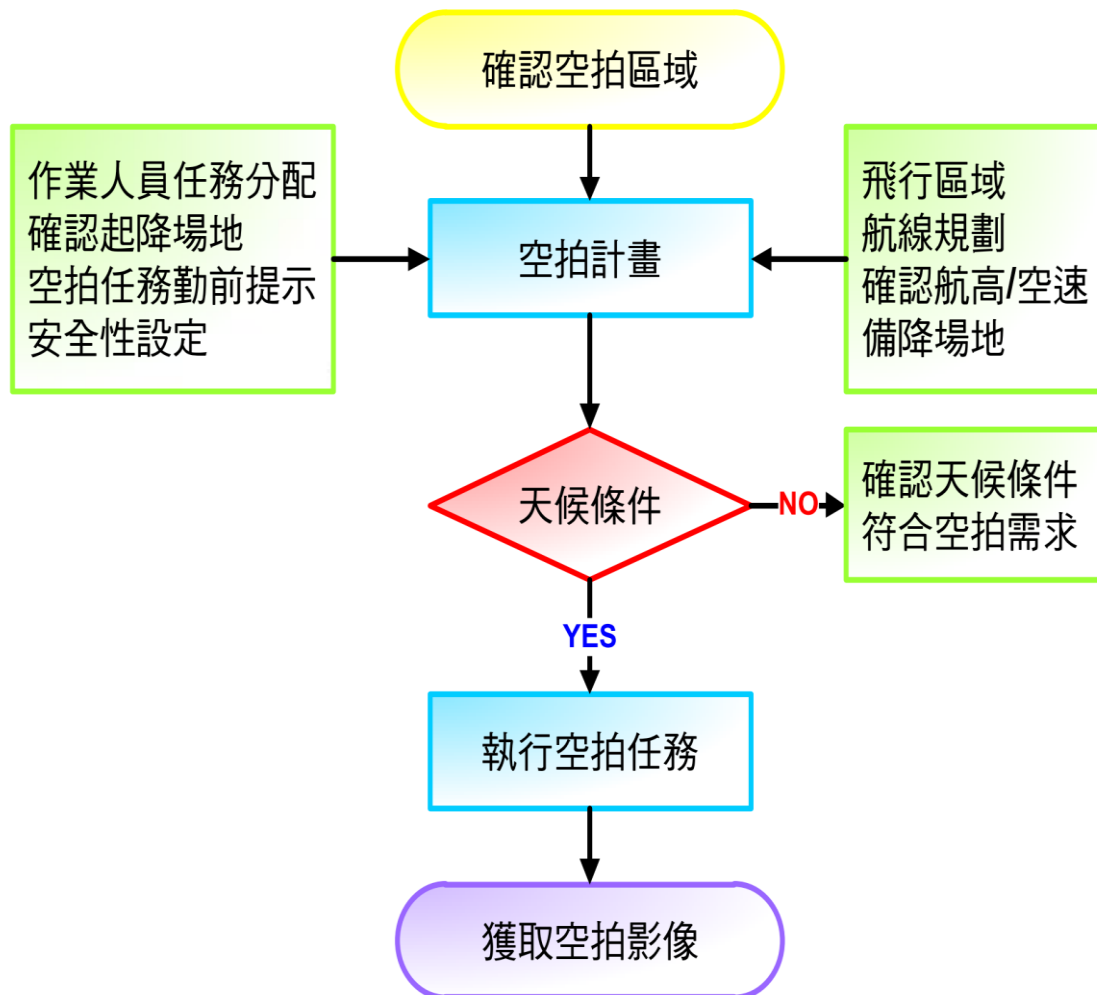


圖2-1 作業流程圖



## 2-2 無人飛行載具設備

本案目標係利用無人飛行載具(UAV)調查棲蘭山森林資源，遂採用兩套符合採購規格之旋翼型無人飛行載具，分別是特製三軸六旋 ST-Y6 與 DJI P4A 兩款，試圖從相機、雲台與飛行能力等條件統互為比較，以歸納出未來續執行森林資源調查時，針對選用何種無人飛行載具提出建議。

### 特製三軸六旋 ST-Y6

飛行載具攝影裝備應包含 2,000 萬畫素（含）以上數位相機，且相機拍攝之原始影像須能即時儲存以供後續處理使用。數位相片拍攝取得單張相片解析度可達地面解析度 3 公分。

為因應不同拍攝需求與環境因素，本案選用打造之三軸六旋翼無人飛行載具 ST-Y6（圖 2-2），依據測區地形、氣候等因素相互搭配使用。地面控制站具有座艙儀錶軟體，集成了飛行規劃、飛行監控、飛行資料分析等多種功能於一身。可即時接收並顯示飛行器的各種飛行資料，包括電池電壓、座標、高度、方向飛行速度、飛行路徑、距起飛點的距離、環境溫度、風速、電機工作狀態、遙控器信號強度、GPS 狀態等重要資訊，能夠同步保存所有的飛行資料。即使在人工遙控飛行模式下，只要系統裝有當前作業區域電子地圖或影像地圖資料，系統能夠即時顯示飛行器在地圖上的位置。

ST-Y6 機身系統特點如下：

- 一、長達 60 分鐘的即時視訊 (FPV) 巡航時間
- 二、整合操控與數據傳輸的長程無線傳輸系統(開闊地可達 10KM)，可以確保飛行器在飛行過程中，始終可以與地面站保持數據連線，隨時追蹤飛行軌跡，或變更飛行任務
- 三、特殊 Y6 機架設計，兼具三旋翼機的輕量，四旋翼機的續航能力，與六旋翼機的可靠度。
- 四、可折疊，體積小，機動性高。
- 五、全碳纖維機體，結構強固，重量輕。
- 六、重 2.0KG 的任務載荷能力。



- 七、展開時間短，應急情況下 3 分鐘內可起飛。
- 八、全自主飛行，一鍵起降落，垂直起降，不受地形地物限制。
- 九、WYSIWYG “直覺式”的手機&平板等手持地面站操作。
- 十、自動航線生成，定點、定距拍照。
- 十一、所點所到，指點飛行，盤旋鎖定目標點，跟隨飛行。
- 十二、即時視頻傳輸，飛行資料保留，以便飛行完畢後處理分析。



圖2-2 三軸六旋翼無人飛行載具 ST-Y6 實機

表2-1 ST-Y6 技術規格

軸距	800mm
空機重量	3900g
最大有效載荷	2kg
滯空時間 (環境風力<2 級, 飛行速度~30km/h)	搭載 SONY $\alpha$ 7R-II 全片幅單眼相機+ 雲台， 續航時間約 30 分鐘
爬升速率	5m/s (可依需求調整)
巡航速度	9m/s (可依需求調整)



最大航速	25m/s
最大航程	30km
可承受環境氣溫	-10~40°C
工作濕度	最大 95%
抗風能力	13.8m/s (六級)
飛行高度	最大 1000m 工作
工作海拔	最大 3000m
數據傳輸半徑	最大 10km (開闊地)



圖2-3 ST-Y6 工作情形(飛手/ST-Y6/地面工作站)

### 2-3 相機系統

SONY  $\alpha$  7R-II 全片幅單眼相機拍攝，規格諸元下：



圖2-4 SONY  $\alpha$  7R-II 全片幅單眼相機

影像感光元件	類型	35 mm 全片幅 (35.9 × 24.0mm), Exmor R CMOS 感光元件
	像素 (有效像素)	約 4240 萬像素
	像素 (總像素)	約 4360 萬像素
	感光元件長寬比	3:2
	防塵系統	光學濾鏡上的抗靜電鍍膜與感光元件高速震動機械構造

錄製系統 (靜態影像)	錄製格式	JPEG (相容於 DCF Ver.2.0、Exif Ver.2.3, 符合 MPF Baseline)、RAW (Sony ARW 2.3 格式)
	影像尺寸 (像素)	[3:2 長寬比]
		35mm 全片幅大：7952 x 5304 (4200 萬), 中：5168 x 3448 (1800 萬), 小：3984 x 2656 (1100 萬)
		APS-C 大：5168 x 3448 (1800 萬), 中：3984 x 2656 (1100 萬), 小：2592 x 1728 (450 萬)
		[16:9 長寬比]
	35 mm 全片幅大：7952 x 4472 (3600 萬),	



		中：5168 x 2912 (1500 萬)，小：3984 x 2240 (890 萬)
		APS-C 大：5168 x 2912 (1500 萬)，中：3984 x 2240 (890 萬)，小：2592 x 1456 (380 萬)
		[全景拍攝模式]
		廣角：水平 12416 x 1856 (2300 萬)，垂直 5536 x 2160 (1200 萬)
		標準：水平 8192 x 1856 (1500 萬)，垂直 3872 x 2160 (840 萬)
	影像品質模式	RAW、RAW & JPEG、JPEG 超精細、JPEG 精細、JPEG 標準
	RAW 輸出	14 位元
	相片效果	13 種模式：色調分離 (彩色、黑白)、普普風、懷舊相片、部分色彩 (紅、綠、藍、黃)、高對比度單色、玩具相機、柔和過曝、柔和對焦、HDR 繪畫、豐富色調單色、縮樣、水彩畫、插圖
	動態範圍功能	關閉，動態範圍最佳化 (自動/平衡 (1-5))，自動高動態範圍：自動曝光差異，曝光差異等級 (1.0 - 6.0 EV、1.0 EV 級)
	色域	sRGB 標準 (具備 sYCC 色域) 及 Adobe RGB 標準皆與 TRILUMINOS™ Color 相容
錄製系統 (影片)	錄製格式	XAVC S / AVCHD 格式 Ver.2.0 相容 / MP4
	視訊壓縮	XAVC S：MPEG-4 AVC/H.264
		AVCHD：MPEG-4 AVC/H.264
		MP4：MPEG-4 AVC/H.264
影像尺寸 (像素)	XAVC S 4K：3840 x 2160 (30p/100Mbps、30p/60Mbps、24p/100Mbps、24p/60Mbps)	



		XAVC S HD：1920 x 1080 (60p/50Mbps、30p/50Mbps、24p/50Mbps)，1280 x 720 (120p/50 Mbps)
		AVCHD：1920 x 1080 (60p/28Mbps/PS、60i/24Mbps/FX、60i/17Mbps/FH、24p/24Mbps/FX、24p/17Mbps/FH)
		MP4：1920 x 1080 (60p/28Mbps、30p/16Mbps)，1280 x 720 (30p/6Mbps)
	圖片設定檔	有 (關閉 / PP1-PP7)，參數：暗部階調、Gamma (影片、靜態、Cine 1-4、ITU709、ITU709 [800%]、S-Log2)、暗部 Gamma、膝點、色彩模式、飽和度、色彩相位、色彩深度、細節、複製、重設

## 2-4 720 度環景影像拼接標準作業流程

### 2-4-1 拍攝影像

拍攝地環景時係使用環景雲台與定焦魚眼鏡頭，拍攝天空、平視、地面 3 個角度的照片。空中環景則以遙控無人載具旋轉拍攝，由於已飛在空中，因此拍攝平視、地面 2 個角度的照片。拍攝時有幾點原則：

- 一、同一地點的相片須使用相同的焦距、光圈及快門設定，不要使用自動對焦。
- 二、由於大自然光源是動態的，會受到天空雲層流動、太陽光及陰影等影響，拍攝時必須留意現場光影變化。
- 三、因為是拍攝整個環境，不論是光源或陰影都會入鏡，所以曝光設定較難掌握，在某些狀況下勢必會犧牲畫面中的某些細節，盡量保持光源和陰影都能夠適度存在，減少過度曝光與曝光不足的情形，但是必要時還是得根據拍攝重點放棄無法兼顧的地方。



四、每張相片之間需要有互相重疊的部分。若是沒有注意到上述細節，輕微的失誤可能會造成最終影像拼接時產生不自然的落差，如照片色調產生差異等意料之外的狀況，嚴重一點甚至會有照片無法正常拼接成全景照的情形。

### 2-4-2 接合影像

為了產製高品質的環景影像，並提高接合的成功率，影像在接合之前必須針對影像作調校才可以，分為兩大步驟：

- 一、首先檢查各張影像的曝光、焦距、色調是否一致，若有差異則要針對光影細部統一調校。
- 二、進行全景影像應用多媒體部分的編輯，首先先進行全景照編修，把前步驟製作完成的全景照片中的腳架、影子、無人載具螺旋槳等，多餘不需要的部分去除，首先將多餘所在處截取下來，然後在影像處理軟體中進行編修，將不需要呈現的部分做修飾。



圖2-5 修飾影像多餘部分示意圖

三、最後再將其套疊回原照片，由接合軟體拼接，完成最後想要呈現的 720 度環景影像。



採用 ST-Y6 飛行載具搭載 SONY  $\alpha$  7R-II 全片幅單眼相機執行任務，影像拼接過程示意如圖 2-6。

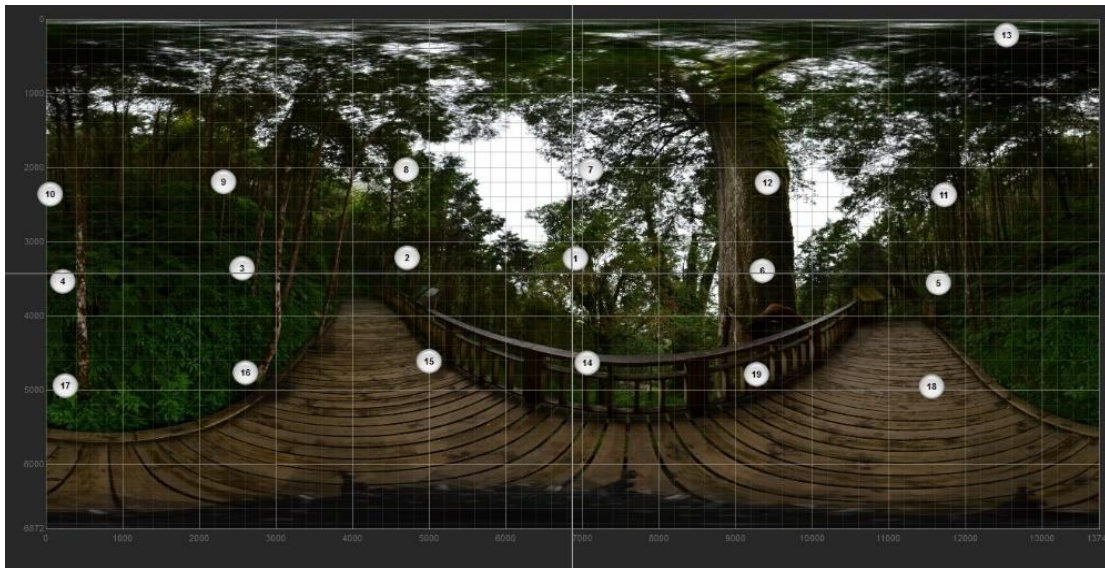


圖2-6 720 度環景拼接畫面示意圖

## 2-5 建置網路展示平台

本案網路展示平台除了展示今年度成果之外，也整合 105 年「神木園林班地檜木資料庫調查及導覽平台建置」委託研究案所建之棲蘭山神木園區導覽網站內容；以及 106 年「利用遙測影像調查鴛鴦湖地區森林結構」委託研究案所拍攝之地面與空中環景。完成新版架「霧林棲蘭逍遙遊」網路平台，平台架構如下：

一、針對園區全景導覽平台之需求，進行網路展示平台開發，包含以下架構：  
導引介面

導引主頁包含「主頁」、「使用說明」、「進入導覽平台」三部分：「主頁」內容簡述地理環境與相對位置供民眾有初步瞭解；「使用說明」內容簡易說明導覽平台操作方式；「進入導覽平台」由前往各區環景說明圖示構成。

二、720 度 VR 平台

720 度 VR 平台以環景構成，包含各種互動按鈕（上下左右平移、自動旋轉、拉近拉遠等）、鑲嵌於 VR 內的景點、生態、介紹等各式按鈕與各種相關景點圖片資訊，相關說明如圖 2-7。



圖2-7 互動按鍵說明

透過森保處拍攝的生態照片連結於導覽平台，點選生態照片相機按鈕，將開啟新頁面呈現園區內棲息之動植物縮圖或是各式影像資料。

可透過按鈕切換空拍影像，如圖 2-9 所示。



圖2-8 空拍環景影像範例



圖2-9 照片連結於導覽平台



## 第三章 研究成果

本案於 107 年 7 月 19 日至 20 日、9 月 19 日至 21 日與 11 月 15 日至 16 日執行三次外業拍攝工作，成果如下。

表3-1 外業天氣紀錄表

日期	7 月		9 月			11 月	
	19 日	20 日	19 日	20 日	21 日	15 日	16 日
天氣	多雲 時晴	多雲 時晴	晴	晴	多雲 時晴	晴	多雲 時晴

### 3-1 地面環景拍攝成果



圖3-1 地面環景拍攝工作情形

表3-2 地面環景拍攝地點



地點	編號	拍攝點描述	拍攝方式
棲蘭森林遊樂區	1	棲蘭山莊	地面環景
	2	蔣公行館	地面環景
	3	林業史蹟文化園區	地面環景
	4	小泰山森林浴步道入口	地面環景
	5	小泰山森林浴步道出口	地面環景
	6	益壽橋	地面環景
	7	橋上亭	地面環景
明池森林遊樂區	1	明池山莊神木	地面環景
	2	明池山莊餐廳	地面環景
	3	木屋 A	地面環景
	4	木屋 B	地面環景
	5	林間教室	地面環景
	6	慈孝亭	地面環景
	7	禪亭 A	地面環景
	8	禪亭 B	地面環景
	9	富春園 A	地面環景
	10	富春園 B	地面環景
	11	花亭	地面環景
	12	石庭	地面環景
	13	明池風景區	地面環景
	14	池上亭	地面環景
	15	經國木	地面環景
	16	明池不滅榮光	地面環景



地點	編號	拍攝點描述	拍攝方式
130 線檜木小學堂	1	步道入口	地面環景
	2	三代木	地面環景
	3	橫倒三百年	地面環景
	4	檜木的世界分布	地面環景
160 線扁柏的故鄉	1	步道入口	地面環景
	2	步道出口	地面環景
	3	檜木林下的箭竹地毯	地面環景
	4	兒時課桌椅的回憶	地面環景



圖3-2 棲蘭山莊



圖3-3 蔣公行館



圖3-4 林業史蹟文化園區



圖3-5 小泰山森林浴步道入口



圖3-6 小泰山森林浴步道出口



圖3-7 益壽橋



圖3-8 橋上亭



圖3-9 明池山莊神木



圖3-10 明池山莊餐廳



圖3-11 木屋 A



圖3-12 木屋 B



圖3-13 林間教室



圖3-14 慈孝亭



圖3-15 禪亭 A



圖3-16 禪亭 B



圖3-17 富春園 A



圖3-18 富春園 B



圖3-19 花亭



圖3-20 石庭



圖3-21 明池風景區



圖3-22 池上亭



圖3-23 經國木



圖3-24 明池不滅榮光



圖3-25 步道入口



圖3-26 三代木



圖3-27 橫倒三百年



圖3-28 檜木的世界分布



圖3-29 步道入口



圖3-30 步道出口



圖3-31 檜木林下的箭竹地毯



圖3-32 兒時課桌椅的回憶



### 3-2 空中環景拍攝成果



圖3-33 空中環景拍攝工作情形



表3-3 空中環景與影片拍攝地點

地點	編號	拍攝地點/影片名	拍攝方式
棲蘭森林遊樂區	1	棲蘭森林遊樂區	空中環景，離地 50 公尺
	2	溫泉會館	空中環景，離地 100 公尺
	3	棲蘭山莊	空中環景，離地 50 公尺
	4	林業史蹟文化園區	空中環景，離地 50 公尺
	5	「棲蘭森林遊樂區」	空拍影片(5 分 31 秒)
明池森林遊樂區	1	明池神木	空中環景，離地 50 公尺
	2	明池湖左側	空中環景，離地 50 公尺
	3	明池湖右側	空中環景，離地 50 公尺
	4	明池神木	等身照
	5	「明池湖東行」	空拍影片(46 秒)
	6	「明池湖西行」	空拍影片(25 秒)
	7	「明池山莊」	空拍影片(1 分 13 秒)
神木園	1	「棲蘭神木園」	空拍影片(1 分)
	2	「司馬遷神木」	空拍影片(39 秒)
	3	「臺灣檫樹高眺」	空拍影片(54 秒)
	4	「臺灣檫樹近攝」	空拍影片(31 秒)
130 線檜木小學堂	5	「臺灣檫樹」	空拍影片(42 秒)
	6	「臺灣扁柏」	空拍影片(1 分 10 秒)
	7	「柳杉林林相改良疏伐作業」	空拍影片(31 秒)
170 線臺灣杉三姊妹	1	「170 線臺灣杉三姊妹」	空拍影片(1 分 18 秒)
160 線扁柏的故鄉	1	「160 線扁柏林」	空拍影片(1 分 20 秒)
	2	「160 線全區鳥瞰」	空拍影片(1 分 30 秒)



地點	編號	拍攝地點/影片名	拍攝方式
臺灣檫樹人工林	1	「臺灣檫樹人工林」	空拍影片(2分)
美檜人工林	1	「美檜近攝」	空拍影片(16秒)
	2	「闊葉樹與美檜競爭棲地」	空拍影片(31秒)
	3	「探尋闊葉林中 早年栽植之美檜」	空拍影片(35秒)



圖3-34 棲蘭森林遊樂區



圖3-35 溫泉會館



圖3-36 棲蘭山莊



圖3-37 林業史蹟文化園區



圖3-38 明池神木



圖3-39 明池湖左側



圖3-40 明池湖右側



圖3-41 明池神木等身照



### 3-3 無人飛行載具運用於森林調查可行性分析

#### 3-3-1 無人飛行載具比較

##### 一、無人飛行載具型式

旋翼型



定翼型



垂直起降定翼型



表3-4 無人飛行載具型式比較表

類型	動力	安全性	飛行時間	乘載重量	特色	適合作業類型
旋翼型	電動力	較高	短	低	無須跑道可垂直起降，可隨於飛行時機調整航拍點，燃動力系統可負重較高。	特定或地形起伏較大區域或都會地區。
	燃動力	較低	中	中		



類型	動力	安全性	飛行時間	乘載重量	特色	適合作業類型
定翼型	電動力	較高	中	高	主要為發泡複合型材質，可以彈射、拋擲方式起飛，故所需起飛距離較燃動力短。	較大且安全性需求較高地區。
	燃動力	較低	長	高	需長距離跑道，可負重較高，因背負燃油且較受限於地形起伏故安全性較低。	幅員廣闊、人口密度較低區域
	混合動力	高	長	高	結合電動與燃動的優點，是高階的動力技術，飛行時間也最長。	幅員廣闊地區。
垂直起降定翼型	電動/燃動/混合	高	長	高	克服定翼型無人飛行載具需要較大起降空間之限制，以旋翼型的型式起降後，但定翼的型式飛行。	幅員廣闊地區但起降空間侷促地區。

森林調查的項目包含調查林相林型、生物資源、覆蓋面積或是木材蓄積量等，無人飛行載具的高機動性搭配通訊與感測器科技，使得利用無人載具調查森林資源的可行性越來越高，但須因調查項目之不同選擇適當之載具與感測器類型。森林調查通常是在空間侷促、通視不佳或是地點較偏遠的山林中進行，在如此環境下，利用無人飛行載具執行任務時，首要考量起飛的空間、工作範圍大小以及針對不同調查項目搭載的感測器形式。

不管是旋翼型、定翼型或垂直起降定翼型，感測器都可以搭配相機、光達或是熱紅外線、光譜儀等感測器，反而所選用之載具類型會對調查的項目與方法有根本性的差異。



以載具類型而言，如上表所作之比較，定翼型無人飛行載具因為需要較大的起飛與爬升空間，從實際操作經驗來說，除非有超過 30 公尺直徑以上的開闊起降場，否則較不利直接從山林間起飛執行任務；其餘不管是旋翼型或是垂直起降定翼型因為所需空間較小，可以在侷促的空間中垂直起飛，較適合林業調查的需求。旋翼型可空中懸停或局部移動作針對小範圍、近距離的觀察，通常其工作面積小於 1 平方公里；更大面積的則改以垂直起降型以巡弋的方式執行影像蒐集或遙感探測工作。

本案例中是採用旋翼型無人飛行載具，因此針對本案所使用的 ST-Y6 與 DJI P4A 兩款無人飛行載具效能作比較。



#### 主要規格

相機：1 英寸 CMOS 2000 萬畫素  
鏡頭：24mm(35mm 等效)定焦鏡頭  
雲台：三軸主動式雲台  
避障系統：前、下視視覺系統

圖3-42 DJI P4A

## 二、變焦鏡與定焦鏡

本案作比較的 ST-Y6 與 DJI P4A(等效)都是採用 35mm 定焦鏡頭。35mm 定焦鏡頭是屬於標準鏡頭，也就是其焦距介於中值，不管是拍攝遠、近物都可以獲得不錯的效果，並且保有景深。

在攝影過程中，隨著拍攝目標遠近、主題或大小的不同，會直接影響畫面之構圖與選用的鏡頭，拍攝者必須選用適當焦距之鏡頭以滿足不同拍攝的需求。所謂變焦鏡頭可以自由變換焦距，無需更換鏡頭情況下都能使用多個不同焦距；相對的，定焦鏡則是指鏡頭只能固定某特定焦距作拍攝。兩種鏡頭具有不同的意義，對於森林調查的需求而言，各有不同的特性需要事先掌握，才能發揮最大效用。

1. 變焦鏡點因為需要移動焦距，所以能移動的組件一定比較多，通常鏡片組合也會比較複雜，因而令鏡頭變得大、重和長。因此，若選用體積



較大且較重的鏡頭會牽涉到無人飛行載具的酬載能力；相反地，定焦鏡體積較小重量也可以減輕。

2. 變焦鏡頭讓拍攝者能於改變焦距，方便構圖之外，更重要的是在一定航高之下，變焦鏡可以放大拍攝更多細節；但定焦鏡通常有較大的光圈，成像上也較為稅利，適合拍攝單一目標。

市售無人飛行載具多採用定焦鏡，並擴大感光元件以增強影像品質。以一般使用經驗，由於畫素提高，35mm 焦距的定焦鏡已足以應付森林調查使用。

定焦鏡或是變焦鏡各有優點，由於變焦鏡可放大縮小，搭配旋翼型無人載具可以離目標物一段距離之外空中停旋並作細部觀察，對於想要利用無人飛行載具觀察樹木的使用者而言，變焦鏡頭仍有用處，但考量酬載能力，選用較大的機型如 ST-Y6 較為合適。

隨著相機科技的進步，對於影像品質的要求已經可以輕易地被滿足，成本也越來越低，但由於利用無人飛行載具拍攝影像時，相機是處於運動而非靜止的狀態，因此相機雲台提供的補償機制才是影響最終成果的關鍵因素，如以下的說明。

### 三、雲台

無人飛行載具所使用的雲台可概分為三種：

#### 1. 固定型雲台

固定朝向一特定方向，例如垂直或水平方向，構造相對簡單許多。由於沒有補償機制，畫面的晃動最為明顯。

#### 2. 被動型雲台

被動型的雲台通常配有靈敏的活動關節，飛行過程中讓雲台依靠著重力牽引保持垂直向下，以達到讓畫面穩定的效果。本案所使用的 Y6 即配備重力型的雲台。



圖3-43 被動型雲台

### 3. 主動型雲台

搭配有馬達，能依據控制訊號調整相機姿態，通常與相機整合為一體，可依控制指令作出不同的動作，包括自動追蹤目標、旋轉鏡頭拍攝特定場域等；更重要的是主動型雲台可作動力補償，有效地抵銷鏡頭晃動，在運動過程中讓相機保持固定的姿態，拍攝出來的畫面是各類型雲台中最穩定的。主動型雲台依精密度不同分二軸雲台與三軸雲台。在現實的三維世界中，鏡頭的晃動包含三維方向(俯仰、側滾、偏航)，二軸雲台僅提供兩個維度的補償；而三維雲台則提供三個維度，補償效果當然較佳，精密度也最高。DJI P4A 即採用三軸雲台。



圖3-44 主動型雲台

## 四、光達

無人飛行載具也可以搭載專用的空載光達系統，以 RIEGL VUX-1LR 空載光達規格為例

- (1) 掃描速度：最高每秒兩百條測線
- (2) 掃描距離最高超長距可達 1300m



(3) 每秒最高 250 條掃描線。

(4) 最大有效觀測速度：每秒 75 萬點(HA 為一百萬點)

空載光達系統搭配無人飛行載具可提供高精度地形或表面模型，惟重量大於單眼相機，對於載具的酬載能力要求較高，且測量等級光達造價動輒上百萬台幣，裝載無人飛行載具之風險須謹慎評估。考量上述理由，以無人飛行載具搭載測量級光達系統仍非主流，目前應用端仍以蒐集遙測影像為主。



圖3-45 RIEGL VUX-1LR 空載光達

#### 五、避障功能

若是採用自動飛行，則避障功能是飛行安全上重要的一環，藉由感知與障礙物之間的距離計算安全間距作為判定障礙的依據，可分為四大類，說明如下：

本案所適用的 ST-Y6 作為專業飛手使用，無避障功能，可允許飛手更靠近目標物拍攝；而 P4A 作為商業使用，因此避障功能採用複合型的視覺避障，安全性較高。

表3-5 無人飛行載具避障功能比較表

感測方法	感測原理	優勢	劣勢
聲波	會用在飛行器底部作高度測量之用，真正用於避障系統的不多	成本便宜	準確度低 易受環境音干擾
紅外線	主動發射紅外線，遇到物體時因距離的不同而有不同的反射條件，接收由外界物體反射而	具有景深	易受陽光影響



感測方法	感測原理	優勢	劣勢
	來的紅外線，並根據其反射量來辨識物體的深度		
雷射	雷射光束及時掃描出繪製出周遭障礙物的 3D 模型	雷射點位定位精準	避障只針對前進方向
視覺	視覺圖像是目前較為理想的避障技術。雙鏡頭可產生類似人眼的立體影像，並藉由演算法計算模擬視覺以避開障礙物，搭前樹的第二種感測器可提高判斷的準確度。	複合型避障效果最好	成本高

### 3-3-2 森林調查的需求

對於森林調查的目的而言，基本資料的蒐集至關重要，包含面積、地點、生長情況以及針對各種自然與人為擾動的觀察與評估。森保處在 106 年「利用遙測影像調查鴛鴦湖地區森林結構」委託研究案之中即嘗試針對森林結構利用無人飛行載具作調查，已有初步成果，這些可以利用無人飛行載具調查的項目包含：

#### 一、生長情形

包含林業經營所注重的樹種、樹高、森林結構、病蟲害情形、搜尋潛在巨木等。



圖3-46 無人飛行載具觀察臺灣檫樹生長情形

## 二、自然擾動

地震或颱風豪雨造成的地層錯位、崩塌、土石流、閃擊引發森林火災等，及其造成的森林孔隙。



圖3-47 鴛鴦湖地區森林孔隙無人飛行載具空拍影像



### 三、人為擾動

包含伐木、盜伐、縱火、土地開發等人為行動所造成的森林擾動情形。

#### 3-3-3 不同林區分級的拍攝需求

本案拍攝 8 處拍攝地點，區分為兩種林區，分別為棲蘭森林遊樂區與明池森林遊樂區屬於森林育樂行的林區；其餘皆屬於森林經營行的林區，針對兩種林區，無人飛行載具的作業在目的與方法上也有所不同，說明如下。

##### 一、森林育樂

目的是提供大眾育樂作使用，因此無人飛行載具的拍攝通常會著重在多媒體的運用，以環景、影片的拍攝手法為主。環景以景觀與導覽為訴求，以直觀作為展現；而影片的拍攝手法則注重剪輯與意象的展現，將景觀與資訊透過網頁、影音平台或是社群媒體深化大眾的觀賞體驗。

##### 二、森林經營

森林經營的需求非與大眾直接相關，而是以林務工作者的需求為出發點，無人飛行載具的拍攝內容著重在滿足前一小節所述之森林調查的各個面向，可以是大片林區的森林生長情形或是災害勘查，也可以是較為微觀的森林孔隙紀錄或調查單一樹木的附生植物生長情形等，無人飛行載具可以解決人員可及性的問題，提供不一樣的觀察視角，對於森林資源的調查帶來巨大的影響。拍攝手法上，無人飛行載具搭配不同感測器可以拍攝點雲、環景、高解析影像、多光譜、紅外線影像或是高畫質影片等。

#### 3-3-4 綜合比較

影響影像品質最重要的就是相機與雲台，特製三軸六旋 ST-Y6 與四旋 DJI P4A 於棲蘭森林遊樂區拍攝的成果可做為比較，展示不同相機與雲台所造成的差異。

##### 一、相機

ST-Y6 所搭配的 SONY $\alpha$ 7R-II 係 35 mm 全片幅 (35.9 × 24.0mm) CMOS 感光元件畫素，高達 4240 萬像素；而 DJI P4A 則是 2000 萬畫素的 24mm CMOS 感光元件相機，兩者都是 35mm 焦距的鏡頭。兩者以 50m、100m 與 150m 三種



不同航高定點起飛拍攝。

飛行高度：150m，以靜態拍攝。



相機型號：SONY  $\alpha$  7R-II

參數設定：F/4.5，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：150m



相機型號：DJI P4A 原廠相機

參數設定：F/4.5，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：150m



飛行高度：100m，以靜態拍攝。



相機型號：SONY  $\alpha$  7R-II

參數設定：F/4，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：100m



相機型號：DJI P4A 原廠相機

參數設定：F/4，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：100m



飛行高度：50m，以靜態拍攝。



相機型號：SONY  $\alpha$  7R-II

參數設定：F/4，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：50m



相機型號：DJI P4A 原廠相機

參數設定：F/4，曝光時間：1/60 秒，ISO：100

飛行高度：50m

由以上比較可以瞭解，在定點拍攝情況下，SONY  $\alpha$ 7R-II 的影像品質明顯比 P4A 清晰許多。

## 二、雲台

ST-Y6 是被動式雲台，DJI P4A 則是三軸主動型雲台，邊移動拍攝以展示兩者差異。



飛行高度：50m，以動態拍攝。



相機型號：SONY  $\alpha$  7R-II

飛行高度：50m



相機型號：DJI Phantom 4 Advanced

飛行高度：50m

如以上比較，若是運動過程中拍攝，P4A 的三軸穩定平台優勢可以展現出來，可看到紅圈處的細節較為清晰。

由以上的比較可以瞭解，當旋翼型無人飛行載具以靜態空中懸停的方式拍攝時，相機的能力是決定影像品質的主要因素；但是當動態拍攝時，可以發現雲台對於影像成果則有關鍵性的影響。

雖然懸停並且搭配高規格的相機可以拍攝出好的影像，但這其實牽涉到無人機懸停能力的好壞。無人機懸停能力的表現，主要因素來自於載具內飛行控制電腦的能力以及外在例如風場等氣象條件，也就是所謂的抗風能力。越大型的無人飛行載具因為有較強的動力輸出，通常抗風能力也會較好，但相對而言



飛行慣性也會較大，要能趨近於靜止狀態則必須依靠飛行控制電腦作調配。

以拍攝的行為來說，靜態通常用於拍攝像片，而動態則是拍攝影片為主，兩者的目的並不相同，如前段所述，在實務操作上，除非要特別拍攝近距離的物體需要高規格的相機，否則無人飛行載具時常是處於運動或是微幅擺動的狀態，此時雲台的影響較為明顯，尤其以三軸平台的穩定效果最佳，對於影像成的品質也較有保障。

### 3-4 山區無人飛行載具拍攝作業標準作業流程

本案執行範圍位於棲蘭山山區，其中許多拍攝地點位於高鬱閉的原始林之中，這樣的情況主要會造成訊號與視野的遮蔽，影響到無人飛行載具的起飛、降落與飛行等動作，也增加了操作的風險。2-1 節說明了無人飛行載具的作業程序，本節就森保處依此作業程序執行過程所獲得的經驗，提出山區無人飛行載具拍攝作業標準作業流程以做為日後執行類似相關工作時的依據。

#### 一、選擇起飛地點

在山區執行無人飛行載具拍攝作業，起飛地點較不固定，必須依照現地狀況決定起飛地點。不同的無人飛行載具類型也需要不同的起飛場所，另外在山區 GPS 與通訊容易受到遮蔽，以上兩點是決定起飛地點的考量條件。首先應盡量依所使用的無人飛行載具類型選擇開闊之起飛地點，例如定翼型就需要較大的起降空間，旋翼型與垂直起降型則可容許較小的起降場；其次就是訊號的遮蔽，則必須檢視遙控器上的訊號狀態調整起降地點。

#### 二、飛行計畫

選擇適當的起飛地點後，於現場擬定飛行計畫。飛行計畫包含規劃飛行範圍、航線的配置與航高等資訊，輸入無人飛行載具中的電腦，並依此計畫自動飛行。在山區執行空拍任務時，航高的設計是最重要的參數，必須參考樹高、地形與期望的空拍解析度在飛行規劃軟體之中預作計算，確認無誤後輸入電腦。

#### 三、設定返航計畫

山區地形起伏且視野遮蔽，返航計畫必須有所考量。首先起飛前檢查返航點是否與起飛地點相同，確認返航地點無誤。一旦無人飛行載具出現異常必須



返航時，由於不同廠牌的機種返航邏輯不盡相同，不論是降低高度直線返航或是依照事前設定的返航點沿原路徑返航，操作者必須事前熟悉所有返航方式，否則在山區作業收到遮蔽的情況之下，若是採用直線返航，仍有很高的失事風險。

#### 四、無人飛行載具的自檢

無人飛行載具的自檢程序包含 GPS 訊號狀態、通訊功能以及飛控晶片等項目，若自檢時出現異常，在山區通常是衛星訊號不良所致，應當檢視當下地點是否有遮蔽情況，將載具移至較為空曠處重新嘗試。自檢程序是一綜合性的功能檢查，對於飛行安全是重要的指標，若自檢程序未完成，不可冒然起飛，應待自檢程序完成後才可起飛。

#### 五、天氣因素

天氣因素包含風速與雨勢，無人飛行載具是精密的電子儀器，抗風能力方面，由於各式機型的抗風能力不同，應遵照使用說明上的限制，不可勉強飛行；雨勢則是較容易被輕忽的，下雨狀態時固然不應起飛，但其實下雨前後空氣中濕度也會有變化，下雨後高空中可能存有殘留的水氣，通常下雨後 30 分鐘之內也盡量避免飛行。

#### 六、飛行時的監看

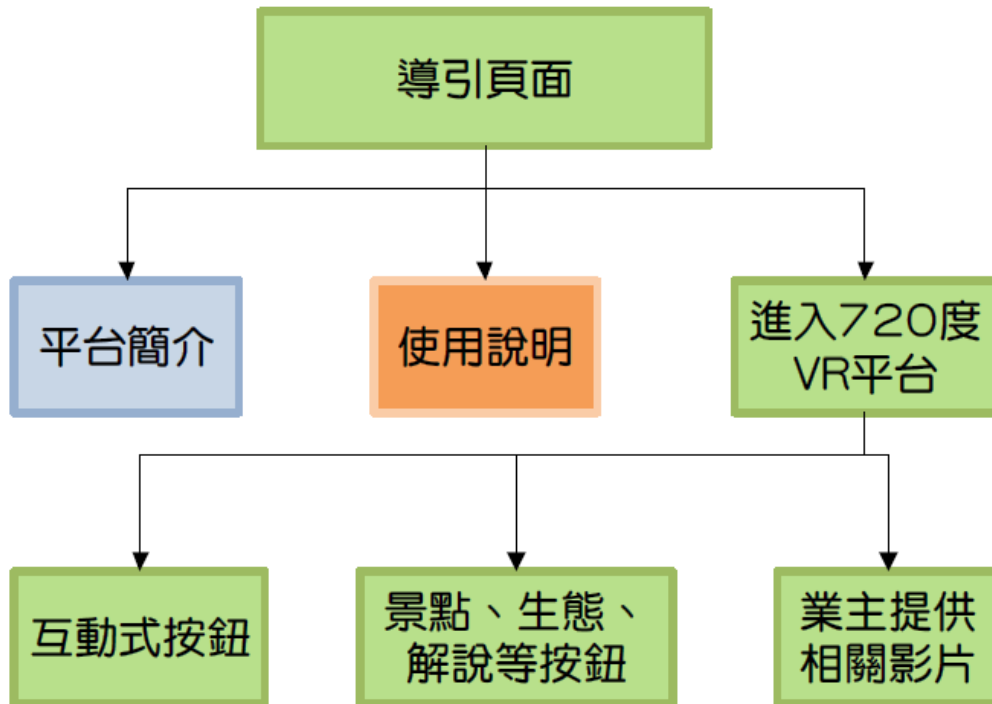
飛行時操作者應該養成隨時監看電量、高度、影像通訊品質等的習慣，以便出現異常時可以及時介入，以手動方式控制住機身。

#### 七、飛行任務後設備的保養

保養是容易被忽略的一環，每次執行飛行任務之後應檢查零件是否發生缺漏，存放無人飛行載具的地點也應該保持乾燥。另外電池的狀態影響飛行時間甚具，電池應該細心維護，定期檢查電量，若超過一周不使用，則須將電池放電才不會縮短電池壽命。

### 3-5 網路展示平台

本案調查成果包含環景與空拍影片，整合森保處其他林區調查影像資料，建置「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台供展示使用，系統架構如圖 4-50。



入口畫面設計下，並增加瀏覽次數的紀錄功能。



圖3-48 「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台入口畫面



圖3-49 「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台空中環景畫面



圖3-50 「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台連結官方 YouTube 頻道

棲蘭山林區圖中以圖例顏色區分「森林遊樂」與「林區經營」之景點。各地圖重新設計如下：



棲蘭神木園區



鴛鴦湖自然保留區



棲蘭森林遊樂區



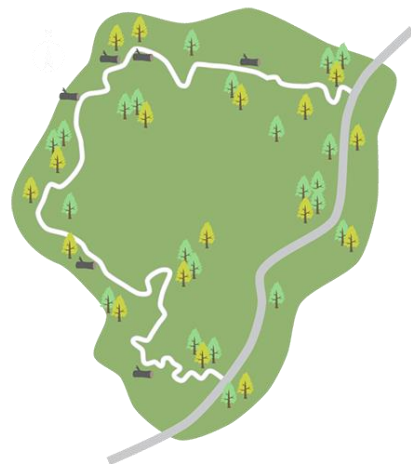
明池森林遊樂區



130 線檜木小學堂



160 線扁柏的故鄉

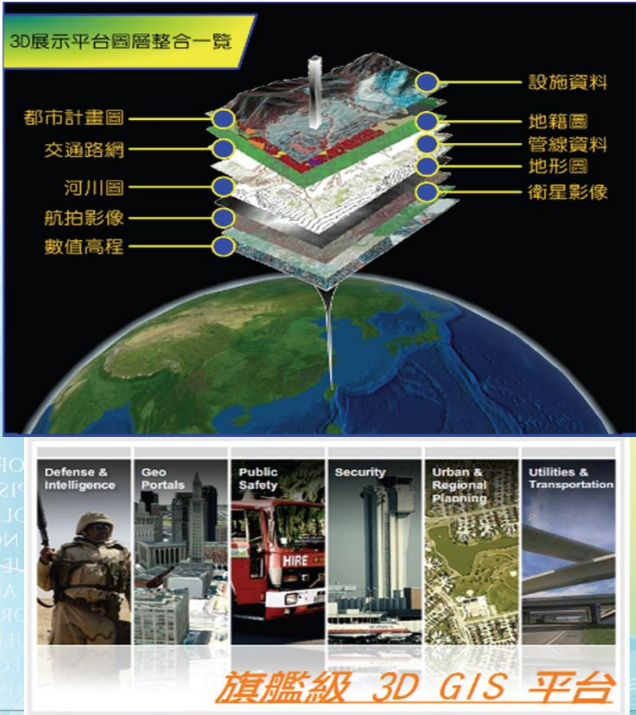




### 3-6 Skyline 3D GIS 平台更新.

Skyline 3D GIS 可在微軟視窗作業系統且沒有網路的環境下單機執行，並可經由系統安裝光碟安裝在執行微軟視窗作業系統的電腦上，不受商業軟體的版權限制。以下為此系統簡介及建置畫面：

Skyline 3D GIS 系統之串流速度與 Google Earth 相同，可飛行導覽地表景觀及觀看細緻的 3D 模型，可套疊的圖層如下圖所示，並可依管理或保密需求不同進行加密，呈現不同程度的資料量。



**3D展示平台圖層整合一覽**

- 都市計畫圖
- 交通路網
- 河川圖
- 航拍影像
- 數值高程
- 設施資料
- 地籍圖
- 管線資料
- 地形圖
- 衛星影像

**旗艦級 3D GIS 平台**

**提供易操作之3D成果資料庫**

- 互動式即時3度空間模擬平台
- 做六個自由度的隨意飛航
- 支援多種影像、向量、高程資料匯入
- 可針對指定圖層套疊
- 提供一般量測工具包含地形剖面線
- 截圖工具可支援大圖輸出
- 可錄製高解析DVD畫質影片
- 支援二次程式開發
- 專案成果可以Viewer包裝隨光碟自由發佈
- 高解析度影像與地形資料獨立封包

圖3-51 Skyline 3D GIS 圖層整合能力一覽

森保處分別於 105 年「神木園林班地檜木資料庫調查及導覽平台建置」委託研究案與 106 年「利用遙測影像調查鴛鴦湖地區森林結構」委託研究案之中，針對棲蘭神木園與鴛鴦湖自然保留區的各项研究成果分別建置了 Skyline 3D GIS 平台。由於 Skyline 擁有強大的數據服務器技術，可在一個專案中容納大量數據資料，遂藉由本研究案將前述兩案 Skyline 專案整合一起。

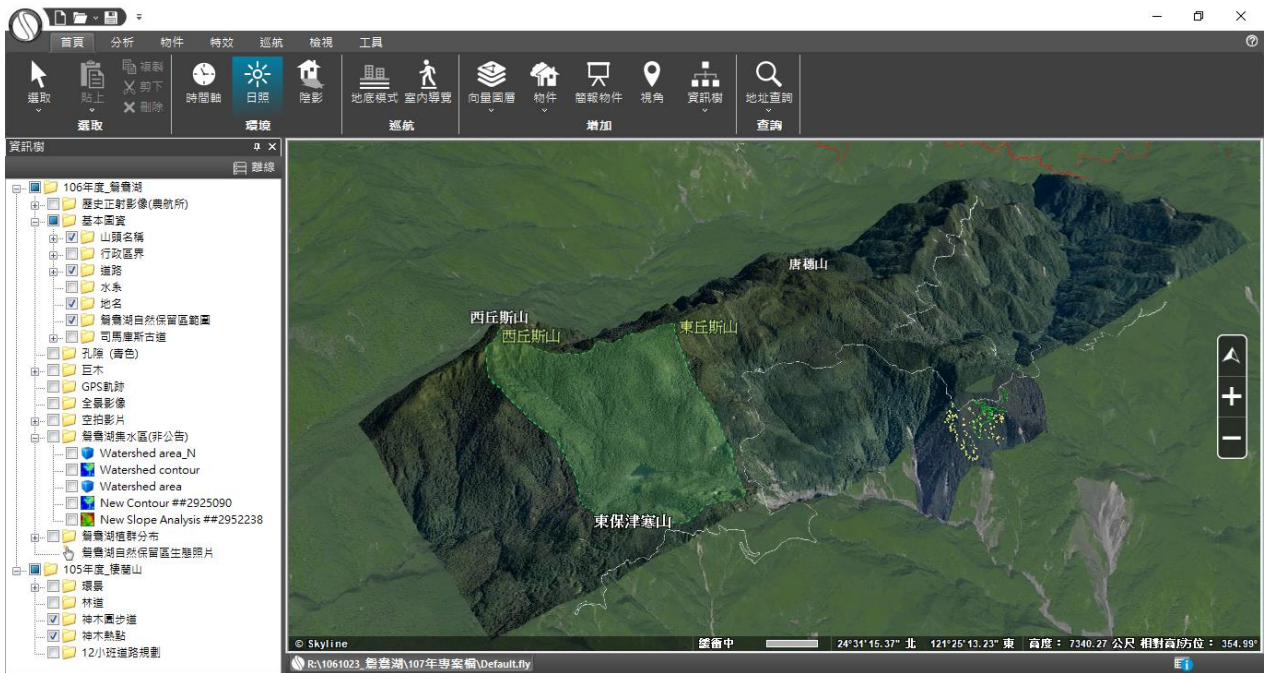


圖3-52 Skyline 3D GIS 平台整合

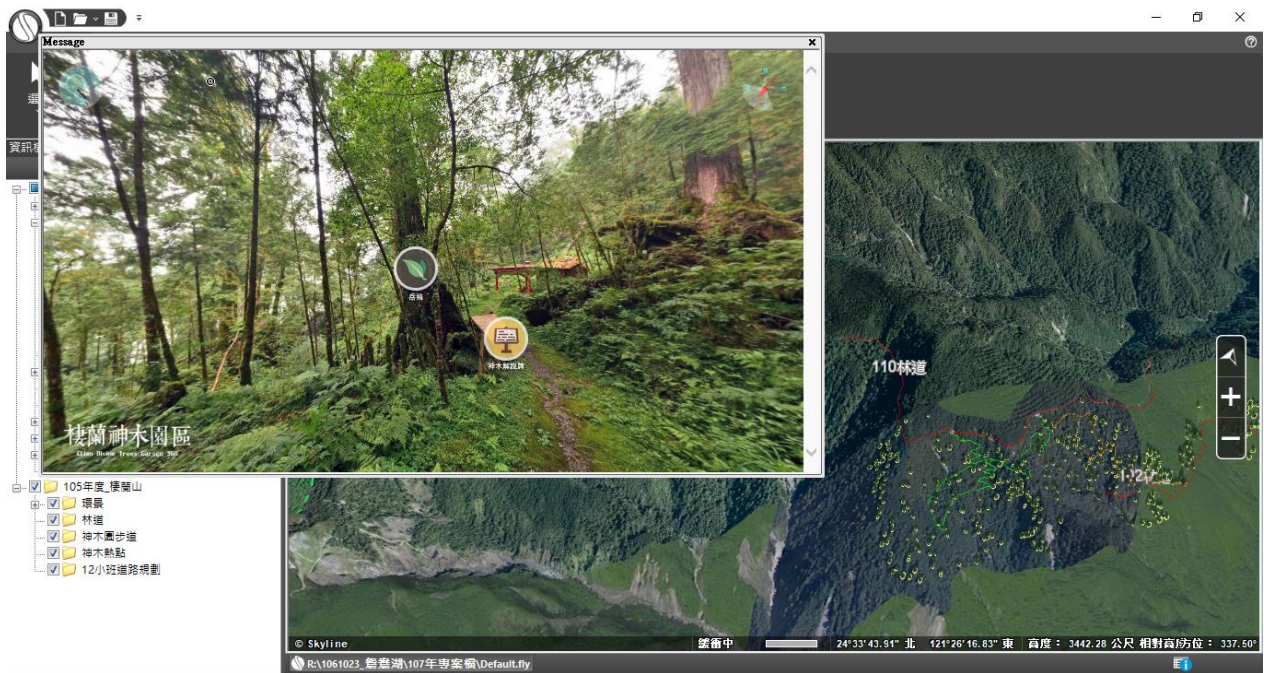


圖3-53 105 年委託研究案成果

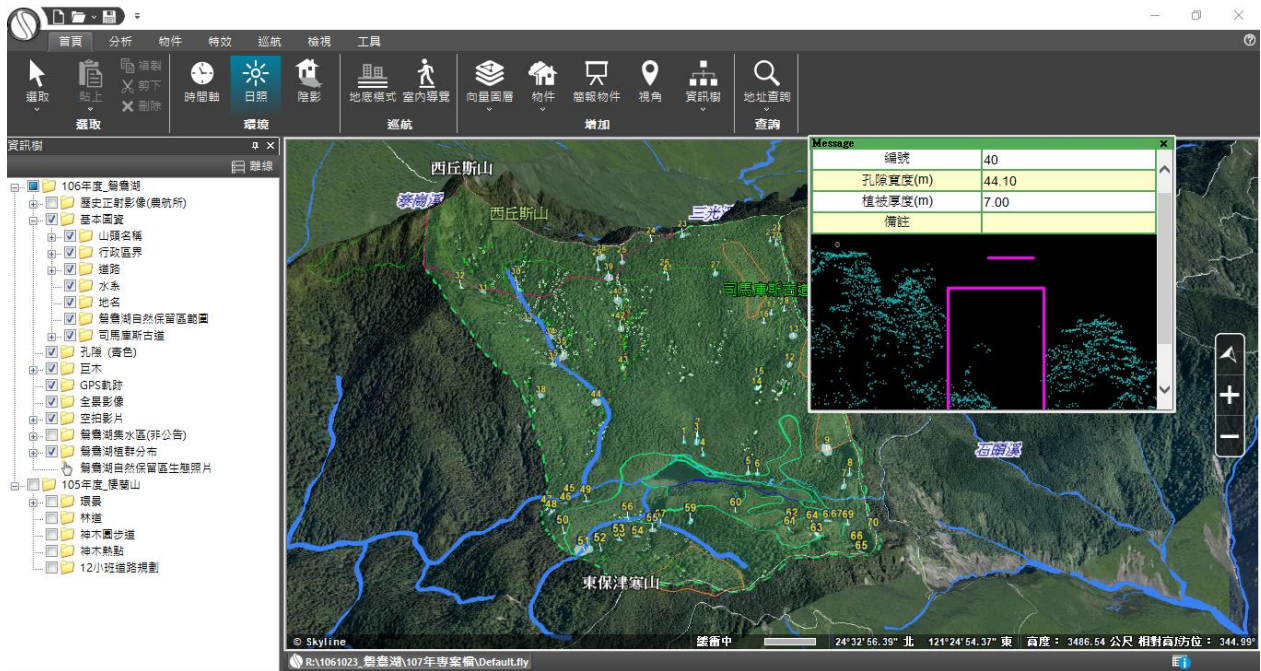


圖3-54 106年委託研究案成果

### 3-7 教育訓練暨成果發表會

本研究案用無人飛行載具(UAV) 調查棲蘭山森林資源，拍攝 8 處指定地點之 UAV 影像資料，將本次調查成果，整合森保處其他林區調查影像資料，建置網路展示平台供展示使用。

本研究案成果建置於「霧林棲蘭逍遙遊」網路展示平台供大眾瀏覽，由森保處 108 年 3 月 8 日上午 9 點至 12 點假森保處會議室辦理教育訓練成果發表會，說明各項研究成果並且安排無人機實機操作。



圖3-55 教育訓練暨成果發表會辦理情形



## 第四章 討論與建議

過往在森林經營與管理上，許多調查工作皆需仰賴人力，森保處自 105 年執行「神木園林班地檜木資料庫調查及導覽平台建置」委託研究案與 106 年「利用遙測影像調查鴛鴦湖地區森林結構」委託研究案嘗試利用航測方法以飛機搭載專業的航拍相機與光達調查森林資源，以高解析度的影像與光達掃瞄點雲建構精準的三維地形，同時調查森林孔隙與潛在巨木，並且利用環景影像技術將調查成果以多媒體網頁呈現給大眾瀏覽，到了本案改以無人飛行載具執行，所獲得的成果與過程中累積的經驗有助於理解傳統航測與無人載具在應用面上的不同，並且歸納出執行無人飛行載具山區拍攝的標準作業流程。

傳統航測使用飛機，針對的是數百公頃以上的大範圍區域，若拍攝面積過小相對而言動員成本就很高，山區氣候多變，也增加無效飛行的風險；相對於使用飛機，無人飛行載具的特性是機動性高，人員需求數量與操作門檻較低，儀器設備也便宜許多，再加上也越來越多針對無人飛行載具開發的感測器，甚至包含精密的光達系統，種種優勢使得無人飛行載具相關應用越來越普及。在森林調查的研究領域之中，除了大範圍的地形測量、林相或覆蓋面積調查等工作之外，包含現地踏勘、孔隙調查、生態觀察或是災害勘查等需要克服人員可及性問題的工作，都可以藉由無人飛行載具的輔助，達到事半功倍的效果。

無人飛行載具雖有其優點，仍須針對不同的作業需求選擇適當的機體類型、雲台系統、感測器等。本案選用自行研發 ST-Y6 旋翼型 UAV 搭載 SONY  $\alpha$  7R-II 全片幅單眼相機與 DJI P4A 搭配原廠雲台兩組設備，針對各項性能作比較，歸納出在不同需求下所適用的儀器設定與使用的建議，說明如下：

- 一、在定點拍攝情況下，因為畫素與感光元件尺寸的優勢，SONY  $\alpha$  7R-II 的影像品質明顯比 P4A 清晰許多。但若是在運動過程中拍攝，P4A 的三軸穩定平台優勢就可以展現出來，影像品質較佳。
- 二、現實狀況之中，無人飛行載具除作空拍環景之外，很多情況也必須在運動過程中作拍攝，ST-Y6 與 P4A 所各自搭載的相機與雲台具有不同的優勢，必須針對不同需求使用作改變。舉例而言，若是點拍攝，建議搭配高階的相機，畫素高，感光元件也較大，可以有較佳的影像品質；但是



若要空拍錄影，因為牽涉到三維運動，雲台的作用就非常重要，可以提供穩定的畫面。

- 三、森林資源調查包含樹種、樹高、森林結構等森林生長情形；以及崩塌、土石流等自然擾動以及土地開發等人為行動所造成的擾動，都可以藉由無人飛行載具作為觀測的工具，無人飛行載具除了搭配相機之外，光達、紅外線相機、多光譜相機等都是對各種不同應用的感測器，對於森林調查的不同需求可以選用不同的感測器。
- 四、軟體雖然可以讓無人飛行載具自動飛行，有避障功能可以提高飛行安全，但實際執行森林調查時開啟避障功能不一定有效，因為很多情況必須在狹窄且不通視的地點起飛，若太過依賴避障功能，避障功能也有死角，當無人飛行載具因為避障閃躲障礙物時很可能會撞上其他物體而影響飛安，因此手動飛行能力是必要的訓練，才可適時接管飛行器，安全降落；另外更重要的一點，避障功能開啟狀況下無法近距離觀察細小物體，例如樹木上的附生植物，此時，仍必須使用手動飛行靠近。因此對於操作無人飛行載具而言，避障功能非萬能，在森林之中飛行，障礙物非常多，手動飛行的訓練仍舊是很重要的基本功。
- 五、無人飛行載具的作業主要限制來自於飛行時間與通訊品質。飛行時間來自於動力系統，一般以鋰電池作為動力的機型而言，旋翼型作業時間大約在 20 分鐘左右，考量返航所需的安全電量，只允許小範圍作業；定翼型則可在 1 至 2 小時之間；若是採用內燃機或是油電混動力則可以飛行超過 2 個小時，惟因機身內含油氣，安全是主要的考量，此外設備維修的成本也較高。通訊品質方面，山林裡飛行載具與操縱者之間的通訊容易受到遮蔽，尤其執行目視外飛行任務時，起飛前作航線規劃時必須考量萬一斷訊時的正確返航軌跡與地點。
- 六、本次嘗試使用無人飛行載具拍攝明池神木與臺灣杉三姊妹等身照時的經驗，拍攝時必須沿垂直方向逐步拍攝，確保每張相片的影像幾何一致。拼接時的成敗則取決於各張照片的色彩光影以及重疊率。建議於陰天拍攝，並且以影像處理軟體於拼接前先統一各張影像的色調，以降低光影不均的影響；重疊率部分則建議 60% 以上。