



應用無人機協助「海岸廢棄物智慧化管理」及「災害復原輔助」

環境管理署副署長 / 劉瑞祥

環境管理署副組長 / 林憶芳

環境管理署科長 / 李岳芳

環境管理署技士 / 廖銘仁

環興科技股份有限公司總經理 / 管永愷

環興科技股份有限公司高階督導 / 余政剛

環興科技股份有限公司協理 / 吳秉耕

環興科技股份有限公司總工程師 / 林韋志

環興科技股份有限公司經理 / 葉俊言

環興科技股份有限公司副理 / 吳欣樺

關鍵字：無人機（UAV）、海岸廢棄物、影像拼接、AI 影像辨識、智慧治理、災害復原

摘要

臺灣四面環海，海漂與陸源廢棄物流入海岸線已成為長期治理課題。環興科技公司協助環境部環境管理署建立一套以無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）為核心的海岸廢棄物智慧化管理流程，涵蓋「任務規劃—航拍作業—拼接判釋—AI 辨識—熱點通

報—清理追蹤—成效回饋」。於 2020 ~ 2024 年完成多趟次航拍與系統化判釋，並以覆蓋率分級（1% 以下至 6% 以上四級）量化廢棄物程度，結合海岸清理資訊平台通報與權管單位清理回饋，形成海岸廢棄物智慧管理治理模式。本文說明 UAV 任務拍攝、海岸管理與平台設計等實務，並提出 AI 模型精進與跨域資料比對策略，以及無人機航拍影像協助



災後復原資訊掌握。初步成果顯示，UAV 航拍與 AI 辨識能有效補強人力步巡盲點、縮短通報與清理時效，掌握大範圍海岸面積髒亂情形；同時應用無人機航拍成果，協助 114 年 9 月 24 日台灣花蓮光復馬太鞍溪堰塞湖溢流造成光復鄉周遭泥流掩蓋，透過航拍影像資訊計算淤泥量及廢棄物面積，輔助一線單位於災害復原量能決策。

一、前言

臺灣海岸線綿長、地形多樣，海漂物、陸源廢棄物與產業活動殘留物容易於岸段聚積，傳統徒步巡查受地形與安全限制，常以短距離抽樣代表長岸段，且垃圾量化多倚賴人工主觀判讀，難以形成可比較的量化指標與完整的熱點分布基線資料。自 2020 年起，專案導入無人飛行載具（UAV）執行海岸空拍，後端結合影像拼接與 AI 辨識，逐步建立從「任務規劃—現地空拍—影像處理—髒亂通報—系統化管理」的一體化流程，以「覆蓋率」作為量化指標，輔以時空差異分析與成效追蹤，補強人工巡查的代表性與客

觀性，並降低現場人員暴露於危險環境的風險，達成「減風險、增效率」的治理目標。同時，本計畫建置「海岸清潔維護空中稽（巡）查管理系統」，整合任務、資料與地理資訊功能，將每次空拍之側拍影像進行拼接判釋與 AI 成果視覺化並量化呈現，支援歷史趨勢與時空差異分析，作為跨機關一致化的作業基礎。

二、作業方法與應用方式

2.1 UAV 航拍作業

1. 任務規劃與飛航參數標準化

為確保取得海岸影像成果達到 3 cm 以下 GSD 解析度可提供後續分析應用，團隊對常見品牌／機型進行超過 100 次對照測試，彙整飛航高度、速度、重疊率、相機角度與 ISO 等標準化參數，並據以形成操作流程（拍攝規劃、航線設計、高程校正、成果上傳）（圖 1）。此舉讓政府與民間單位可依對照表落地執行，並兼顧法規與地形條件。



圖 1 海岸空拍任務執行流程

2. 作業程序與通報串接

現地作業依「海岸環境空中稽查」四階段作業：(1) 行前規劃（任務類型、拍攝範圍、海氣象與空域資料）；(2) 現地空拍（環域安全檢查、航線與參數設定）；(3) 髒亂通報（挑選具聚積廢棄物之側拍影像上傳 Ecolife 平台，並追蹤處理）；(4) 圖資處理與分析（影像校正與拼接、海岸線裁切、圈選判釋與覆蓋率計算）。

2.2 影像標註與 AI 辨識

1. 系統化訓練與 AI 模型演進

海岸廢棄物類型多元、尺寸跨度大，即便人工也難以「完全正確辨識」。因此，專案採持續擴充訓練集與交互驗證的策略，模型自 2022 年起從辨識模型 V4（95 張）逐步擴充至 114 年辨識模型 V9（14,489 張，訓練進行中），海岸廢棄物辨識一致率由 70% 提升至 81%~96% 以上（以多批資料經由人工及 AI 驗證一致率與 F1 等綜合指標衡量）（圖 3）。除了海岸廢棄物



圖 2 海岸空拍作業程序建立

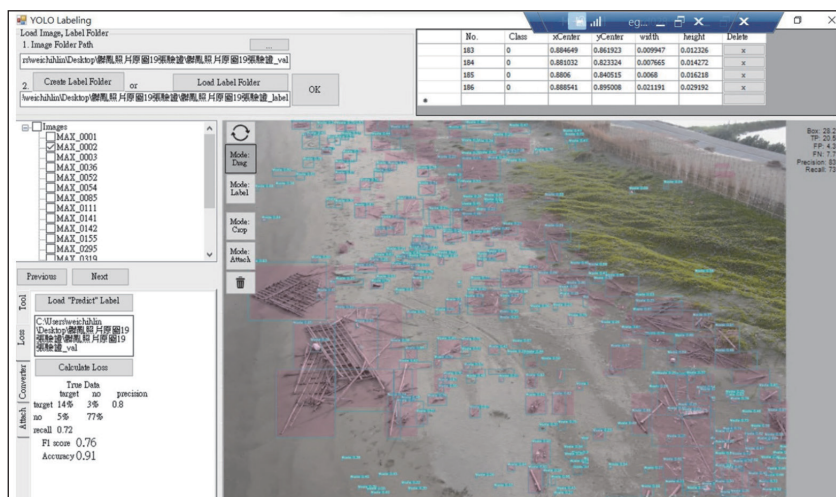


圖 3 海岸廢棄物 AI 影像辨識標註工具



辨識之外，由是否為廢棄物辨逐步精進為不同廢棄物種類辨識，由於海岸廢棄物型態多元，包含保麗龍、竹筏、漁網、漂流木及塑膠容器等，人工判釋耗時且主觀差異大，在種類辨識上需大量影像進行模型學習，透過持續擴增標註資料集及模型精進，部分單一種類已達 5 成以上，針對不同廢棄物種類辨識仍逐步精進中。

2. 標註工具物件分割技術

團隊自行研究標註介面，對正射與側拍中非自然物件進行框選或區塊圈註，並以分批資料檢核人機一致與差異（例如「皆辨識為垃圾／皆辨識非垃圾／僅一方辨識為垃圾」），據以調整權重、錨框與後處理閾值，同時以影像分割基礎模型進行廢棄物影像面積精進，透過可泛化的影像特徵學習，能自

動辨識各類非自然物件輪廓，提升廢棄物辨識精度與邊界擷取效果（圖 4）。此模型應用可有效降低人工圈選成本，縮短 AI 訓練資料製作時間，並提升模型對不同光照、地形及背景的適應性，使整體辨識流程由「人工標註」進階為「半自動分割與自動分類」，強化海岸廢棄物智慧化判釋與影像管理效。

3. 拼接結合辨識與效能

對單次海岸飛行任務的數百張影像，系統先完成正射化與特徵點匹配，產出不重複計數的「完整岸段拼接圖」，再於拼接成果上套疊 AI 偵測框或分割，直接回推廢棄物「覆蓋率」（圖 5）。以 300 ~ 400 張照片案例計，傳統 CPU 需約 4 ~ 5 小時，採高階 GPU 演算法後可壓至約 1.5 小時。

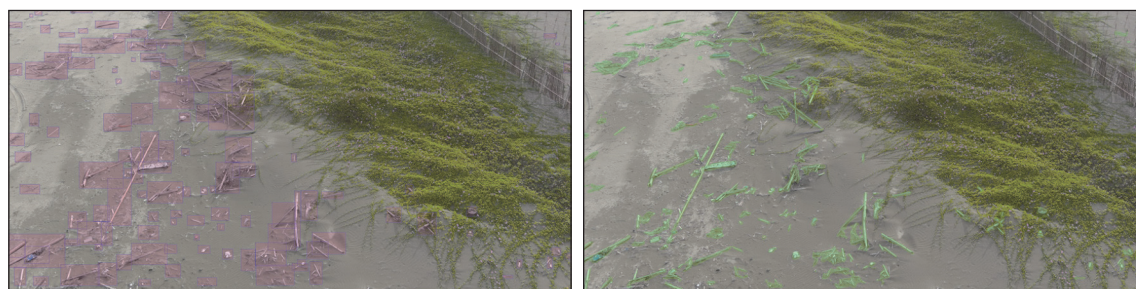


圖 4 海岸廢棄物 AI 影像辨識物件辨識（左）；導入分割模型（右）



圖 5 海岸影像拼接與辨識作業



2.3 災後復原影像拼接

本團隊運用無人機（UAV）進行高解析度航拍，取得花蓮光復災後之地表影像，並透過拼接軟體進行正射影像拼接，建立具地理參考之高精度地表模型（圖 6），將正射影項進行圖磚製作發佈，結合 Google earth 於 114 年 9 月 28 日即時提供現場前進指揮所應變應用。

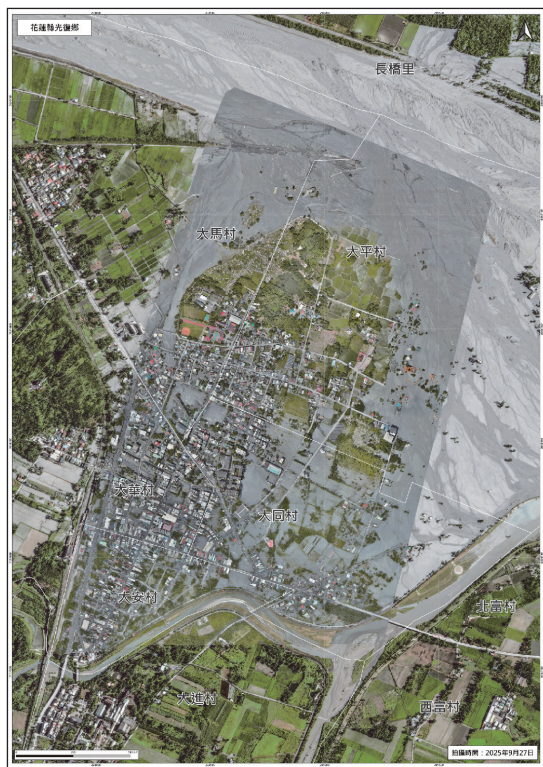


圖 6 花蓮光復鄉正射影像拼接（2025 年 9 月 27 日）

三、成果

3.1 海岸廢棄物空拍任務執行

每年度空拍成果涵蓋多個縣市不同海岸

段，包含座標、時間與空域別；任務與成果（側拍影像）均匯入管理系統之任務與資料管理模組，以利於海岸段與時間序列進行回溯分析與交叉比對。作業面遵循年度工作目標：完成規劃趟次之外，於髒亂處即時通報 Ecolife 平台，並追蹤權管單位的清理時效、結果與清理前後影像差異；此流程亦構成模型持續學習之資料回饋來源。管理系統面提供登入、任務建置、成果上傳、GIS 檢視與時空分析等功能，將「覆蓋率」等量化數據與時序趨勢綁定空間位址，形成可檢視、可視覺化、可量化之「海岸髒亂基礎資料」。

3.2 海岸廢棄物覆蓋率與分級

以側射照片拼接後的海岸面積作為母面積，經海岸線裁切避免海面稀釋，再由 AI 模型自動計算「廢棄物覆蓋率」。建立海岸待四級分級，提供髒亂通報應用：

1. 第 1 級：覆蓋率 $< 1\%$ ，局部零星；
2. 第 2 級： $1\% \sim 3\%$ ，多為平均分布偶有集中；
3. 第 3 級： $3\% \sim 6\%$ ，堆置較廣，常見漂流木、蚵架；
4. 第 4 級： $> 6\%$ ，嚴重堆置，常鄰近養殖或作業活動區。

此分級可作為管考門檻、清理調度與複查頻率之依據。

3.3 資訊系統整合

本計畫建置「海岸環境清潔維護空中稽查管理系統」，把「任務規劃／外業執行／正射拼接／AI 辨識／通報清理／成效回

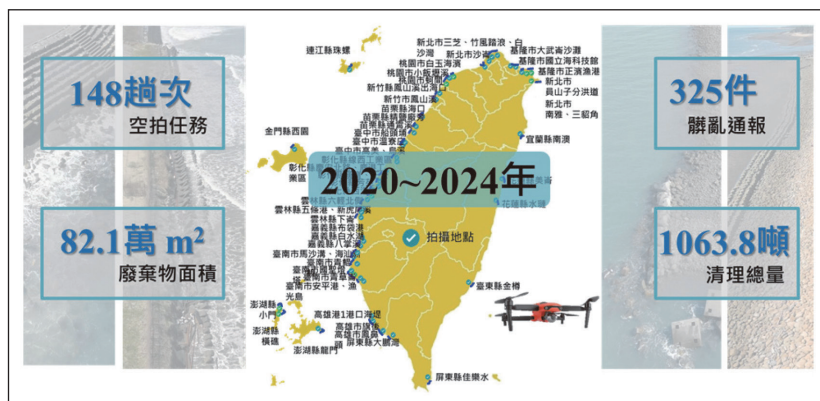


圖 7 2020 年 ~ 2024 年海岸空拍飛行任務執行成果

饋」串為單一作業鏈。平台內含飛行任務管理、資料上傳與影像拼接、AI 模組廢棄物影像辨識及髒亂覆蓋率與熱區計算分級、任務成效管理等。藉由資訊系統 GIS 介面可即時切換各空拍任務執行成果，以及瞭解實際海岸帶影像拼接成果與廢棄物辨識成效(圖 8)，並將廢棄物進行髒亂熱區分級(圖 9)，提供權責單位分析應用。

3.4 AI 辨識廢棄物與步巡快篩對照

一方面，AI 於完整岸段拼接圖上輸出面積化的覆蓋率；另一方面，與 NGO 等民間夥伴合作建立「步巡快篩及空拍分級」的換算對照，以每 100 公尺步巡快篩方式與海岸空拍進行驗證測試，利於現地稽核與遠端判釋互相參照比較。此對照亦可用於抽驗與抽樣

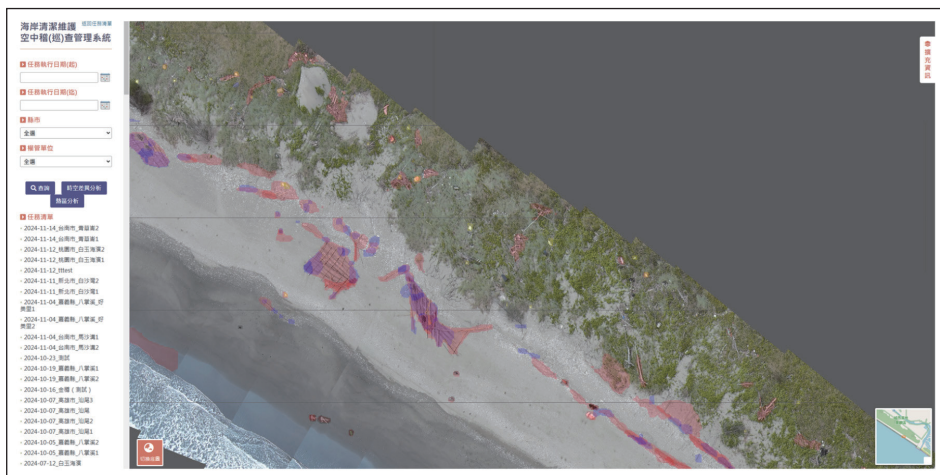


圖 8 海岸環境清潔維護空中稽(巡)查管理系統 廢棄物辨識

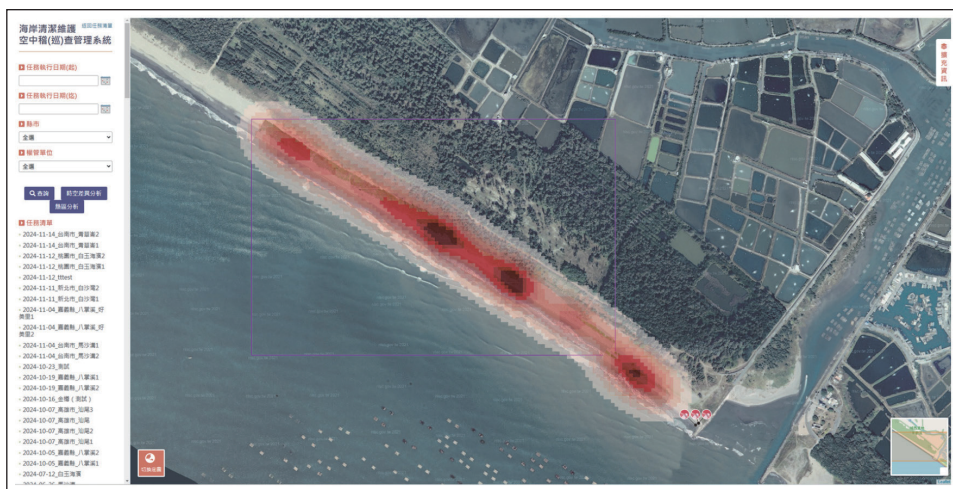


圖 9 海岸環境清潔維護空中稽（巡）查管理系統 熱區分析

規劃（例如未來在低覆蓋率岸段降低徒步頻率，於中高覆蓋率岸段增加現地查核），提升巡查量能配置效率。

3.5 災害復原量化成果

本計畫依據無人機航拍正射影像拼接結果，結合農業部提供之淤泥區範圍與深度資料，包含河道及各村里淤泥厚度等，推估淤泥覆蓋厚度與體積變化，以及災區戶數清理百分比進行淤泥量體推估，並且針對正射影像圖進行垃圾影像判釋，提供環境部復原清運與量體決策參考（圖 10）。

四、結論

4.1 海岸空拍智慧管理

本計畫以 UAV 航拍為前端資料取得，透過影像拼接與 AI 辨識與平台髒亂通報

為核心，形成「可量化、可追溯、可比較」的海岸廢棄物管理價值鏈。實務顯示，覆蓋率作為單位岸段的標準化量尺，可同時支援跨期趨勢研判、跨區資源調度與跨機關績效考核；當其與權責單位之通報、清理、回饋機制串接後，降低人工作業的主觀性與提升時效性。技術面上，影像拼接及 AI 影像辨識作業，使單趟任務可在可控時間內產出可用成果，滿足例行巡查與事件型任務的時效需求；治理面上，系統化的任務、資料與權限管理，讓「現地作業—平台分析—後端決策」具備明確角色與界面，亦便利海岸廢棄物髒亂管理智慧化發展。

然而，此作業方式仍存在三項應持續精進的方向：第一，小型與材質近背景的垃圾（如透明薄膜、細碎塑材）在特定地表紋理與光影下的偵測穩健度仍待提升，且現階段以沙岸為主要海岸應用標的，後續



圖 10 花蓮光復鄉災後廢棄物面積判釋

可結合更高解析度航拍、低空補拍與物件強化學習策略；其二，與現地端步巡快篩的「驗證對照」雖已建立初步共識，仍可透過抽驗與共測擴大樣本，以優化跨方法一致性；最後，針對廢棄物影像辨識作業，其廢棄物與否判斷一至性具足夠代表性，然而針對廢棄物種類辨識，亦受限於影像解析度、廢棄物種類繁多、部分廢棄物太小等難以辨識。

綜上，無人機結果 AI 辨識的海岸廢棄物智慧管理模式已證實具有可操作性與可擴充性：在同等人力下提升覆蓋範圍與決策效率，在同等時間內提升證據品質與資料透明度。隨著訓練資料累積，系統可望由「影像導向的量測」進一步邁向「因果導向的治理」，支援源頭控管與場域型政策工具的優化。

本計畫以 UAV 為前端、影像拼接與 AI 辨識與系統平台為後端，形成從資料獲取、智能判釋到治理回饋的管理價值：

1. **客觀量化**：以覆蓋率為核心指標，取代單張影像及步巡主觀判讀與短距離抽樣推估，支援長期跨期比較與熱區追蹤。
2. **效率與安全**：空拍在時間內涵蓋更長岸段，兼顧人員安全；透過影像拼接與 AI 辨識可取得足夠代表性海岸帶髒亂指標，滿足例行性與事件型任務的需求。
3. **持續學習**：模型由 YOLOv4 進化至 YOLOv9，訓練樣本量級與一致率逐年提升，透過人機比對與回饋迭代實務判釋成果。
4. **制度化與平台化**：四階段作業指引、Ecolife 通報串接與管理系統功能（任務／資料／辨識／管理）落地，促進中央與權管單位跨域協作。



4.2 災後復原輔助

藉由無人機航空進行正射影像拼接，取得高解析度航照圖，結合區域調查資料如淤泥深度及清理戶數等資訊，可進行淤泥量與垃圾量之定量化判釋。此方法可提升災後即時環境監測效率，並提供後續復原與資源管理之決策支援依據，在極端事件中能夠「快、穩、準」發揮輔助效能。