SWCB-111-136

111年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

成果報告書



行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國111年12月

111年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究　成果報告書

111年度　行政院農業委員會水土保持局

行政院農業委員會水土保持局

與您一起打拼

行政院農業委員會水土保持局

54044南投市中興新村光華路6號

https://www.swcb.gov.tw

計畫編號：SWCB-111-136

111 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

The Study of Impact and Adaptation Strategies for Large-Scale Sediment Disasters under Climate Change

執 行 單 位　　財團法人農業科技研究院

研究主持人　　黃德秀

研 究 人 員　　林宥伯、莊承穎、李哲宇、蔡宗賢

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 111 年 12 月

111 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

摘要

本 (111) 年度為三年期 (111 年~113 年) 計畫的第一期，為探討氣候變遷引致大規模土砂災害之衝擊與調適對策的相關研究進展，同時因應去 (110) 年高雄荖濃溪流域的明霸克露橋斷橋事件，因此，本計畫科技研發重點定為坡面上不安定土砂研究。本 (111) 年度完成的工作項目包含：國內外土砂防災技術與氣候變遷文獻蒐集分析、水土保持試驗研究-不安定土砂評估法、基礎資料加值與模式應用及強化技術支援與培訓人員能力，並協助水土保持局於坡地不安定土砂相關資料的蒐集。

在國內外土砂防災技術與氣候變遷文獻蒐集分析方面，包含盤點水土保持局 110 年委辦計畫成果與撰寫土砂防災技術與調適策略之電子報。110 年水土保持局委辦計畫計有 222 件，本 (111) 年度盤點目標係針對可能包含水土保持基礎調查資料與後續加值應用之案件，計盤點 143 件，並彙整歸納出後續可供利用的創新方法計有 6 大類，分別為空間資訊、現場與監測資料、集水區資料、數值模擬、加值應用以及水保出版品及教育訓練類。同時，本年度蒐集國內外相關之土砂防災技術與調適策略，萃取相關可行技術並撰寫 30 篇電子報，以提出不安定土砂的相關應用，截至 112 年 1 月 4 日，總閱讀人次為 24,333 人次，平均閱讀人次為 811 人次，實具新興科技推廣及科普成效。另外，本年度共發表 12 篇文章，其中研討會文章 4 篇，海報 8

篇，議題主要著重在於大規模崩塌的土砂量體估算以及採用土石流數值模式模擬該崩塌發生後土石流動的路徑以及移動範圍。

在前瞻調適策略與關鍵技術研究發展可行性評估上，本年度則聚焦於不安定土砂議題探討及整體研究規劃，第一期計畫雖屬資料蒐集階段，但亦已初步提出以方法論以篩選出不安定土砂風險區。同時，規劃未來將透過數值模式模擬後續流動情形，快速掌握災害發生後，對下游的影響程度，達到提早預警，有效避難的目標。

本年度提出不安定土砂風險區快速評估方法論簡述如下，結合劇烈天氣監測系統 (QPESUMS) 網格以及全島崩塌圖層，建立全台灣地文脆弱度 (F_P) 網格點的分布，並套疊全台灣橋梁位置分布，再利用崩塌位置與橋梁之高程差，以及離橋梁之流路距離，來做為崩塌土砂可能影響下游橋梁/道路之潛勢動能，評估橋梁受不安定土砂影響的風險程度。然而，此方式僅屬快速評估法，崩塌發生後之土砂運動仍須以更精細之土砂流動數值模式進行模擬分析及橋梁現況的調查。本年度亦以高雄荖濃溪為案例，至現地調查不安定土砂所影響之橋梁現況，並利用無人飛行載具進行三維建模，檢核本方法之合理性。結果顯示，本研究提出之不安定土砂風險區快速評估法所篩選出之不安定土砂區，其橋梁跨度小、橋梁高度低、上游多有崩塌發生、河道亦有大量土石堆積，多為河道瓶頸段，確實具有高風險之土砂災害潛勢，因此，本方法可有效的評估坡地不安定土砂的可能分布位置。

本年度優先以較具高危險潛勢的橋梁集水區作為主要評估對象，未來將針對其上游不安定坡地，進行土石流數值模擬，模擬可能運動路徑及範圍，來比對今年度不安定土砂評估方法的可靠性。亦將透過前後期數值高程地形的比對以及其他新興監測技術來檢討不安定土

砂尚未裸露的坡地的崩塌可能性，並評估該坡地是否有滑動的可能。

基礎資料加值與模式應用上，本計畫彙整 111 年水土保持局資料及政府資料開放平台，以 Tableau 進行視覺化展示「縣市政府轄管橋梁資料」及「簡易防災地圖 (線上版) 」兩主題，分享於水土保持局技術研究發展平台之視覺化成果展示頁面。

在強化技術支援與培訓人員能力方面，考量近年無人飛行載具在防災上的應用多元，以往災害無法到達之處，透過無人飛行載具的協助，已可快速進行拍攝了解現地情形，因此，為強化水土保持相關業務同仁無人飛行載具應用與資料處理能力，本年度完成無人飛行載具相關之教育訓練，包括航照正射影像後處理軟體教學、環控 VR 模型訓練模組，並首次協力縣市政府水保領域人員與局內同仁一同辦理無人飛行載具操作考照等訓練，提升水保領域同仁技術能力。同時，持續協助局內同仁執行無人機攝影任務或考取操作證照等需求。

此外，本年度為持續精進無人飛行載具的應用，於南投縣九九峰森林步道園區新構之連續鋼管防砂壩，及惠蓀林場觀景台進行兩案例之三維建模。前者，建置高程差誤差僅-0.01~0.16 m，可提供未來數值模擬或土砂堆積變化之研究，達到不安定土砂於特定地區之多期觀測，以強化局內估算土砂體積變化及模擬土砂運移能力，以期未來更能掌握不安定土砂的影響潛勢。後者結果顯示，隨軟體技術進展，已可利用開源軟體有效整合無人飛行載具及手機兩來源之影像建模。

本三年期計畫，將針對於氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究，提出以下結論，不安定土砂因其尚未發生明顯滑移或徵兆，使找出坡面不安定土砂一直被認為是困難的工作，需導入國內外新科技與新技術，建立坡面基礎調查及風險規劃能力。並跨域整合相關地

文及水文資料，建構如不安定土砂風險快速評估法之災害及風險規劃機制，提供局內相關災害潛勢，以研擬未來災時應變決策。同時，落實水保領域人才之技術培育，以持續精進因應氣候變遷而引致大規模土砂災害之衝擊與調適相關對策研究。

關鍵詞：不安定土砂、資料視覺化、土石流數值模式、無人飛行載具、3D 建模

The Study of Impact and Adaptation Strategies for Large-Scale Sediment Disasters under Climate Change

Abstract

This project is the first phase of the three-year (2022-2024) project. It is to investigate the impact of large-scale sediment-disasters caused by related research on climate change and adaptation strategies. The focused study of unstable sediment on the slope, which caused the incident of the MingbaKelu Bridge broken in the Laonong River Basin. The main achievement of the project in 2022 includes (1) collection and analysis of domestic and foreign sediment disaster prevention technology and climate change literature, (2) soil and water conservation experimental research unstable sediment evaluation methods, (3) basic data value-added and simulation model application, and (4) strengthening technical support and training personnel capabilities. And, assistant for the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) in collecting relevant data on unstable sediment on slopes.

This project collected domestic and foreign-related sediment disaster prevention technologies and adaptation strategies and extracted relevant feasible technologies for writing 30 e-newsletters to propose related applications of unstable sediment. And, this project inventoried 2,152 SWCB annual project reports of sediment disaster strategies and technology without the project reports that did not include basic data or applications (2008-2021). As of January 4, 2012, the total number of e-newsletters viewers was 24,333. The average number of viewers is 811,

which is really effective in promoting emerging technologies and popularizing science. In addition, a total of 12 articles were published in this project, including 4 seminar articles and 8 posters. The topics mainly focused on the volumetric estimation of sediment in large-scale landslides and the use of debris flow numerical models to simulate the path of debris flow after the landslide occurred and the range of movement.

In terms of the feasibility assessment of forward-looking adaptation strategies and key technology research and development, this project focuses on the discussion of unstabled sediment issues and the overall research plan. Because this is the first phase of the project, it is still in the data collection stage. It is proposed to use a methodology to evaluate the risk zone of unstable sediment initially. Moreover, planning will use numerical models to simulate the follow-up flow situation in the future, so as to quickly grasp the degree of impact downstream after the disaster, and to achieve the goal of early warning and effective evacuation.

In this project, the evaluation methodology for unstable sediment risk areas is briefly described as follows. Combined with the QPESUMS grid and the landslide layer, the distribution of the grid of the Physiographic Fragility index (F_P) for the whole of Taiwan is established. And, the location distribution of bridges in Taiwan was overlaid, using the elevation difference and flow path distance between the landslides occurred location and the bridge, as the potential kinetic energy of the sediment that may affect downstream bridges, and assess the risk of bridges affected. However, this is only a quick evaluation method. The movement after the

landslides still needs to be simulated and analyzed with a more precise sediment numerical model, and the investigation of the current status of the bridge. Therefore, taking the Laonong River in Kaohsiung as an example, we went to the site to investigate the current status of bridges affected by unstable sediment and used unmanned aerial vehicles (UAV) to conduct 3D modeling to check the rationality of this method. The results of comparing by evaluation and in-situ, that in high-risk bridges span is small, the bridge height is low, there are many landslides upstream, a large amount of sediment accumulation in the riverbed, or most of the bridges are the bottleneck of the river usually. Therefore, this method can effectively evaluate the possible location of unstable sediment on the slope.This project is given to bridge watersheds with relatively high-risk potential as the main assessment object's priority. In the future, numerical simulations of landslide flow will be carried out for the unstable slopes upstream of them, and the possible movement paths and ranges will be simulated to compare with the reliability of evaluation methods for unstable sediment this year. It will also review the possibility of landslides of slopes with unstable sediment that has not been displacing through the comparison of the numerical elevation topography of the previous and later stages and other emerging monitoring technologies, and assess whether the slope has the possibility of sliding.

In terms of basic data value-added and simulated model application, this project reorganizes the open data of government and SWCB, which uses Tableau to display “The Bridge under the jurisdiction of county and

city governments" and "Simple Disaster prevention map (online version)", both shared on the RTDT website. The former has had about 177 viewers since it was launched in March, and the latter has had about 566 viewers since it was launched in May until December 2022.

In terms of strengthening technical support and training personnel capabilities, considering the diverse applications of UAVs in disaster prevention in recent years like quickly understanding the local situation where places could not be reached by disasters in the past with the assistance of UAVs. Therefore, in order to strengthen personnel in water and soil conservation related to the application and data processing capabilities of UAVs. This project has completed education and training related to UAVs, including aerial photo orthophoto post-processing software, VR model training modules, and UAV operating training with the personnel of soil and water conservation of the county and city government and colleagues of SWCB. At the same time, continue to assist colleagues in the bureau to attend work or obtain operating certificates and other needs to improve the technical capabilities.

In addition, this project continued to improve the application of UAVs, which make the three-dimensional building of two cases, which are the newly constructed continuous steel pipe sand control dam in the Jiujiufeng Forest Trail in Nantou County and the viewing platform of Huisun Experimental Forest Station. The results of the first case show an elevation difference error of only -0.01~0.16 m, which can provide future numerical simulation or research on sediment accumulation changes and achieve

multi-period observations of unstable sediment in specific areas. So as to strengthen the estimation of sediment volume changes, simulate sediment transport, and better grasp the impact potential of unstable sediment in the future. The second results show that open-source software can be used to integrate image modeling from two sources UAVs and mobile phones with the development of software technology effectively.

This three-year project focuses on the study of large-scale sediment-disaster impacts and adaptation strategies under climate change, so that put forward the following conclusions. Unstable sediment has not yet occurred obvious displacement, so it has to be a priority to find unstable sediment on slopes. However, it is still considered to be a difficult task, and it is necessary to collect new technologies in domestic or abroad to establish basic slope survey and risk control capabilities. It also needs to construct a disaster and risk planning mechanism such as the rapid evaluation method of unstable sediment risks by integrating relevant geography and hydrology data across domains. Then, providing related disaster potentials within SWCB to formulate future disaster response decisions. Finally, implement the technical training of colleagues in the field of soil and water conservation, so as to improve the research on strategies related to the impact and adaptation of large-scale sediment disasters caused by climate change continuously.

Keywords: unstable sediment, data visualization, debris flow numerical model, UAV, 3D buildings

目次

摘要 I

ABSTRACT V

目次 X

表次 XIII

圖次 XV

第一章 緒論 1-1

第一節 研究背景 1-1
第二節 研究目標 1-3
一、 全程目標 1-3
二、 本 (111) 年度目標 1-3
第三節 研究架構 1-5
一、 建立水土保持領域研究能量 (第二、三章)： 1-5
二、 推動資料跨域技術整合 (第四章)： 1-5
三、 培力水土保持及防災技術支援能力 (第五章)： 1-5

第二章 國內外土砂防災技術與氣候變遷文獻蒐集分析 2-1

第一節 歷年土砂防災技術與研究成果盤點 2-1
一、 盤點工作範圍 2-2
二、 盤點成果彙整分析 2-8
三、 委辦計畫現況及後續精進方向 2-27
第二節 國外土砂防災技術導入本土化可行性評估 2-33
第三節 前瞻調適策略與關鍵技術研究發展可行性評估 2-37
一、 崩塌地災害的調適策略 2-37
二、 坡地災害防災策略 2-39
三、 堰塞湖防災調適策略 2-42
四、 崩塌地評估工具-地圖、遙感探測以及監測 2-45

第三章 水土保持試驗研究-不安定土砂評估法 3-1

第一節 集水區內不安定土砂坡面評估 3-1
一、 前言 3-1
二、 材料與方法 3-2
三、 結果與討論 3-17
第二節 現地調查-以苳濃溪流域內橋梁為例 3-24

一、 橋梁淨高量測及驗證結果 3-24
第三節 結果與討論 3-32
一、 定期評估橋梁集水區之不安定土砂潛勢 3-32
二、 完備橋梁資訊精進評估能力 3-32
三、 地文脆弱度更新及量體評估 3-32
四、 強化橋梁集水區水文模擬 3-33
第四章 基礎資料加值與模式應用 4-1
第一節 資料視覺化應用 4-1
一、 縣市政府轄管橋梁資料視覺化 4-2
二、 簡易防災地圖 (線上版) 4-3
第二節 BIGGIS 平台操作教學分享 4-5
第五章 強化技術支援與培訓人員能力 5-1
第一節 強化無人飛行載具協作及人員培訓 5-2
一、 無人飛行載具操作人員培訓 5-2
二、 評估與建議 5-15
第二節 統合多元圖資與三維建模技術 5-16
一、 無人飛行載具建模案例一-九九峰森林步道園區 5-18
二、 無人飛行載具建模案例二-惠蓀林場觀景台 5-34
三、 評估與建議 5-43
第六章 結論與建議 6-1
第一節 結論 6-1
一、 歷年委辦及研究計畫盤點 6-1
二、 建立不安定土砂評估方法論 6-3
三、 基礎資料加值及培力專業技術 6-4
第二節 建議 6-6
一、 歷年研究計畫盤點成果可延續性建議 6-6
二、 不安定土砂評估方法論精進建議 6-7
三、 資料跨域整合及人力培訓建議 6-9
參考文獻 1
附錄一 審查意見及回覆情形 1
附錄二 審查會議簽到單 1
附錄三 橋梁集水區風險指標列表 1
附錄四 文章發表 1

附錄五 電子報彙整 1

表次

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計 2-4
表 2-2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 2-6
表 2-3 盤點資料成果類別 2-9
表 2-4 細部盤點項目與統計數量 2-10
表 2-5 110 年委辦計畫常用數值模式 2-21
表 2-6 電子報各類別期數與觀看人次統計 2-33
表 2-7 電子報觀看人次排名 2-35
表 2-8 電子報觀看人次統計 (2023/1/4 計) 2-35
表 3-1 地文脆弱度指標 FP 分布特徵與分級 3-3
表 3-2 不安定土砂潛勢值及橋梁長度分群門檻值 3-18
表 3-3 極高和高風險橋梁集水區列表 (藍字為台鐵橋梁集水區) 3-21
表 3-4 明霸克露橋周圍綜合評估表 3-23
表 3-5 雷達測距儀三角測量與三維建模淨高比對表 3-25
表 3-6 現勘結果紀錄表 3-26
表 4-1 110 下新北市地裡課程發展中心教師專業成長研習營 4-6
表 4-2 海山高中第一堂教學課程及報名資訊 4-7
表 4-3 海山高中第二堂教學課程及報名資訊 4-8
表 4-4 海山高中第三堂教學課程及報名資訊 4-9
表 4-5 海山高中第四堂教學課程及報名資訊 4-10
表 5-1 技術培訓規劃與實質應用效益 5-1
表 5-2 各分局技術支援 5-2
表 5-3 外業調查設備 5-18
表 5-4 AUTEL EVO II PRO 規格性能諸元 5-19
表 5-5 TRIMBLE R6 MODEL 4 移動站規格性能諸元 5-21
表 5-6 E-GNSS 調查成果 5-24
表 5-8 E-GNSS 基準資料 (TDC600 系統產製) 5-31

表 5-9　基站點參數.....5-32

表 5-10　對比無人飛行載具 GPS 與 E-GNSS 控制點高程差.....5-32

表 5-11　對比實測 E-GNSS 高程與控制點校正後數值地形高程.....5-33

表 5-12　地面影像來源 (手機規格參數).....5-35

表 5-13　EXIF 相關之 GPS 標籤.....5-37

圖次

圖 1-1 研究架構圖 1-6
圖 2-1 盤點工作架構及流程 2-3
圖 2-2 110 年委辦計畫性質數量統計 2-5
圖 2-3 資料管理平台-綜合資料查詢 2-8
圖 2-4 H.O.S.T 地圖與 CS 地圖應用案例 2-12
圖 2-5 空間資訊資料成果應用 (BIGGIS) 2-12
圖 2-6 BIGGIS 應用案例-20221016 台七線 86.5K 崩塌判釋 2-13
圖 2-7 以 H.O.S.T.地圖協助判釋施工區內蝕溝與崩塌地現況 2-13
圖 2-8 以空載光達製作微地形立體地圖(紅色地圖)及判釋災害重點區 2-14
圖 2-9 H.O.S.T 地圖製作原理 2-14
圖 2-10 地基雷達 GB-SAR 施設成果影像 2-16
圖 2-11 以模糊分析法判釋崩塌地警戒等級 2-16
圖 2-12 測深船量測成果 2-18
圖 2-13 透地雷達量測成果 2-18
圖 2-14 水砂觀測站觀測成果 2-19
圖 2-15 CCHE-1D 模擬集水區內斷面沖淤變動情形 2-21
圖 2-16 CCHE-2D 模擬拋放預鑄塊時河道沖淤變化 2-22
圖 2-17 RAMMS 模擬潛在崩塌影響範圍及對重要設施影響分析 2-22
圖 2-18 SEEP/W 模擬地層孔隙水壓對邊坡穩定之影響分析 2-23
圖 2-19 RAMMS::DF 模擬土石流衝擊力對建築物之影響 2-23
圖 2-20 水土保持 3D 虛擬實境數位展館成果 2-25
圖 2-21 教育訓練課程 2-26
圖 2-22 電子報各類別每期平均觀看人次統計 2-34
圖 2-23 美國猶他州 THISTLE 崩塌地 (1983) 2-44
圖 2-24 THISTLE 堰塞壩後方分流排水隧道以及溢洪道 2-44
圖 2-25 崩塌地調查地圖 2-46

圖 2-26 崩塌潛勢區域地圖 2-47
圖 2-27 美國華盛頓州西雅圖市 MAGNOLIA 地區的淺層崩塌災害地圖 2-48
圖 2-28 LA CONCHITA 山體滑坡的航空照片。 2-49
圖 2-29 INSAR 成像過程的干涉圖 2-50
圖 2-30 2005 利用傾斜 LIDAR 拍攝圖 2-51
圖 2-31 即時崩塌數據測量和資料網路傳輸示意圖 2-52
圖 3-1 不安定土砂潛勢區示意圖 3-1
圖 3-2 QPE 網格坐標化示意圖 3-3
圖 3-3 DEM 與 DTM 差異示意圖 (PLEIADES USER GUIDE, 2021) 3-4
圖 3-4 橋梁資料篩選流程圖 3-6
圖 3-5 橋梁篩選原則示意圖 3-7
圖 3-6 非位於主河道但仍被匡列之橋梁範例 (天池橋) 3-8
圖 3-7 人工排除支流或無明顯水路之橋梁示意圖 3-8
圖 3-8 流路距離及集水區範圍劃設示意圖及圖例 (單位：M) 3-10
圖 3-9 套疊 QPE 網格點示意圖 3-11
圖 3-10 各橋梁集水區不安定土砂潛勢值計算示意圖 3-13
圖 3-11 橋梁集水區二維風險矩陣 3-14
圖 3-12 本評估方法現勘點位分布圖 (GOOGLE MAPS) 3-15
圖 3-13 不安定土砂潛勢值及橋梁長度分群柱狀圖 3-17
圖 3-14 橋梁集水區風險值分布圖 3-19
圖 3-15 橋梁集水區位置及風險程度分布圖 (221 個) 3-20
圖 3-16 明霸克露橋周圍綜合評估圖 3-23
圖 3-17 橋梁資訊與橋梁淨高相關性比較圖 3-26
圖 3-18 炳才橋及新寮橋現勘情形 (左：炳才橋、右：新寮橋) 3-27
圖 3-19 荖濃溪流域內之跨支流橋梁 3-28
圖 3-20 唯金溪橋正射影像 (右側為上游) 3-29
圖 3-21 唯金溪橋河床現況紀錄 3-29
圖 3-22 明霸克露橋正射影像 (右側為上游) 3-30

圖 3-23 明霸克露橋河床現況紀錄.....3-30
圖 3-24 大津橋 (新) 正射影像 (右側為上游).....3-31
圖 3-25 大津橋 (新) 現況紀錄.....3-32
圖 4-1 縣市政府轄管橋梁(農路橋梁)(TBMS) 4-2
圖 4-2 TABLEAU 線上圖台連動示意圖 4-3
圖 4-3 簡易防災地圖示意圖(臺南市安南區為例)..... 4-4
圖 4-4 水保局講師.....4-11
圖 4-5 水保局講師.....4-11
圖 5-1 針對無基礎者進行無人飛行載具實地教學及操作練習 5-3
圖 5-2 DRONE2MAP 軟體 (農委會大量授權) 5-5
圖 5-3 DRONE2MAP 軟體支援快速 2D 正射、數值模型與 3D 建模..... 5-6
圖 5-4 DRONE2MAP 導入空拍機影像與航線軌跡..... 5-6
圖 5-5 將於農工中心所拍攝影片進行正射影像之拼接成果..... 5-7
圖 5-6 BENTLEY CONTEXT CAPTURE 軟體介面(水土保持局局內軟體授權).. 5-8
圖 5-7 導入空拍機影像，讀取 GPS 及俯仰角參數 5-8
圖 5-8 由軟體進行特徵點對齊與空中三角平差 5-9
圖 5-9 進行數值地形產製，設定坐標系統、高程、範圍、解析度..... 5-9
圖 5-10 完成之三角網格模型 5-10
圖 5-11 產製正射影像成果.....5-11
圖 5-12 VIVE 設備 5-12
圖 5-13 VIVE 搭配筆記型電腦進行內部訓練 5-13
圖 5-14 支援臺南分局勞安教育訓練.....5-13
圖 5-15 分局與現場人員操作 VR 模組.....5-14
圖 5-16 無人飛行載具輔助業務流程圖.....5-16
圖 5-17 拍攝任務區空域.....5-22
圖 5-18 無人飛行載具手動航線.....5-22
圖 5-19 現地 E-GNSS 測量 (控制點-3) 5-23
圖 5-20 現地 E-GNSS 測量 (控制點-1) 5-23

圖 5-21 現地 E-GNSS 測量 (驗證-2) 5-24
圖 5-22 資料後處理、應用流程圖 5-25
圖 5-23 無人飛行載具影像軌跡與空中三角平差 5-26
圖 5-24 模型重建範圍、參數調整.....5-26
圖 5-25 三角網格模型-灰模.....5-27
圖 5-26 設定控制點坐標框架與資料 5-28
圖 5-27 正射影像、測量點位與 3D 建模成果.....5-29
圖 5-28 無人飛行載具拍攝資料與 EXIF 參數.....5-35
圖 5-29 手機拍攝資料與 EXIF 參數.....5-36
圖 5-30 手機端寫入坐標用 APP.....5-36
圖 5-31 惠蓀林場任務區域.....5-38
圖 5-32 拍攝任務環形軌道與地面軌道 5-38
圖 5-33 現場低空作業及地面手機拍攝 5-39
圖 5-34 手機拍攝原始資料.....5-40
圖 5-35 手機影像缺乏重建用高程資料 5-40
圖 5-36 進行影像組三角平差融合之結果.....5-41
圖 5-37 無人飛行載具空中軌道與模型位置.....5-41
圖 5-38 手機地面軌道與模型位置.....5-42
圖 5-39 建模成果的告示板 QR 碼.....5-42
圖 5-40 案例一 3D 建模成果 5-43
圖 5-41 案例二 3D 建模成果 5-44

第一章 緒論

第一節　研究背景

由於臺灣山區地形陡峭與地質脆弱等不利於土體安定之特性，加上全球極端氣候變遷所帶來的強降雨，及位處環太平洋熱帶氣旋活動帶與地震帶影響，導致國內近年來大規模土砂災害發生之規模及頻率增高，致使山坡地常面臨土砂災害的威脅；同時，98 年莫拉克風災造成中南部山區多起重大土砂災害及堰塞湖等事件，更引起國內外對大規模土砂災害及其衍生之複合型災害的重視，惟其發生機制、影響與衝擊範圍之評估、防災對策與調適策略等議題，仍有待進一步的研究。

由於大規模土砂災害之發生機制、規模與發生頻率仍有高度不確定性及風險，因此現有治理對策強度及防減災體制，對於因應大規模土砂災害之應變及防減災風險能力恐仍有所不足。近幾年，世界各國已積極進行大規模土砂災害、軟硬體模擬、調適策略等研究工作，並持續進行預警戒及避難體制整備、土地利用規劃與限制、保育治理工程設置等措施、對策及教育推廣，透過研析發展，持續精進與強化相關調適對策，希冀能提升土砂災害應變能力。

雖然國內目前已有對潛在大規模崩塌及土石流潛勢溪流等可能致災地區進行調查及劃設影響範圍，並針對災害規模及災害應變措施等課題展開相關研析，然針對大規模土砂災害此類議題仍屬起始階段，仍需投入更多研究探索相關防減災技術之開發及應用等方法。此外，水土保持局歷年完成之土石流防災及集水區規劃等調查報告、相關研究計畫及監測設施，已累積大量現場調查或現地監測成果，惟多數成果僅於紙本報告書或 PDF 等非結構化之電子檔方式保存，不利於資

料本身的再加值應用，亟需規劃相關資料格式、建立資料蒐集、整合、儲存與分享之流程與機制，除回溯歷史資料依規劃格式進行數化外，亦需設計調整後續驗收機制，以符合數位時代下政府的資料治理及開放資料之政策，創造資料之價值。

針對因極端氣候變遷所致的大規模土砂災害之管理與防減災調適對策，本計畫擬藉由蒐集、更新、研析國內外土砂災害相關技術研究文獻，持續盤點歷年水土保持局相關土砂防減災計畫執行成果與評估其可行性、延續性，並蒐集集水區土砂災害案例，進行模式模擬精進測試與分析，俾據以研擬土砂防減災研究發展等工作，同時規劃大規模土砂災害相關防減災對策研究、發展大規模土砂災害情境模擬研析、建立防救災風險與衝擊評估機制，且研擬相關防減災對策等目標。

近年來，水土保持局作為土石流及大規模崩塌防減災之重要對策研擬機關，面對氣候變遷衝擊影響下的大規模土砂災害調適對策與管理措施，以集水區、崩塌潛勢區及土石流潛勢溪流為研究標的，研析提升防減災技術，建構智慧防減災的生活環境。為因應極端氣候變遷的影響，對於集水區治理、坡地及潛勢溪流監測與警戒、避難體制管理、集水區永續經營利用等工項，將面臨極大挑戰。然面對不可預期之複合型災害，及其規模與影響範圍擴大等情勢逐漸明顯，實有必要及早進行相關研究及組織內部隨時審視、檢核、透過重整業務執行流程，以保持及加強各部門間之協調性，期望藉由蒐集、整理、參考國內外相關研究、技術、法規、政策等文獻，參酌世界各國因應氣候變遷所擬定之對策與所發展之新興技術，循此脈絡研擬適用於國內之因應對策，以建構足以因應極端氣候變遷影響下的大規模土砂災害防減災策略與機制。

第二節　研究目標

一、　全程目標

(一) 建立大規模土砂模擬及評估技術

(二) 研析大規模土砂災害調適對策

(三) 培育技術發展所需之專業人才

(四) 統合資料蒐集與基礎資料加值應用

(五) 發展公私跨域協作應用加值推廣

二、　本 (111) 年度目標

(一) 收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件

1. 國外土砂防災相關技術導入本土化可行性評估

2. 調適對策或技術可行性評估

3. 進行案例測試可行性

(二) 盤點水土保持局歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析

1. 研議歷年已完成之防災技術加值應用

2. 研擬歷年已完成之研究成果推廣應用

(三) 集水區土砂災害致災模擬模式分析

1. 建立土砂災害相關模擬分析

2. 建立土砂防災情境分析

3. 現地土砂災害案例檢證

(四) 基礎資料加值與模式應用

1. 擴大跨域資料流通與示範

2. 資料視覺化應用與教學推廣

3. 促進資料應用交流、座談、與案例訪談

(五) 強化技術支援與人員培訓能力

1. 強化無人飛行載具協作現調能力

2. 統合多元圖資與 3D 建模技術

3. 培訓土砂災害模擬分析能力

第三節　研究架構

為分項以完成本 (111) 年度計畫之工作目標，依研究人力分配將研究分為三部分進行，研究架構如圖 1-1。

一、　建立水土保持領域研究能量 (第二、三章)：

(一) 盤點本局歷年水土保持相關研究與委辦計畫成果。

(二) 研析國內外水土保持最新研究與技術文件。

(三) 擬訂前瞻策略與關鍵技術研究發展規劃。

二、　推動資料跨域技術整合 (第四章)：

(一) 協助水土保持與防災資訊監測系統之資料應用與整合，並推動防災產業發展。

(二) 其他有關水土保持與農村再生相關技術研究發展事項。

(三) 參與或執行本局重點委辦與研究案。

三、　培力水土保持及防災技術支援能力 (第五章)：

(一) 辦理防災專業技術教育訓練提昇技術支援能力。

(二) 規劃成立坡地災害緊急對策支援團隊。

(三) 推動水土保持試驗研究專責單位之成立。

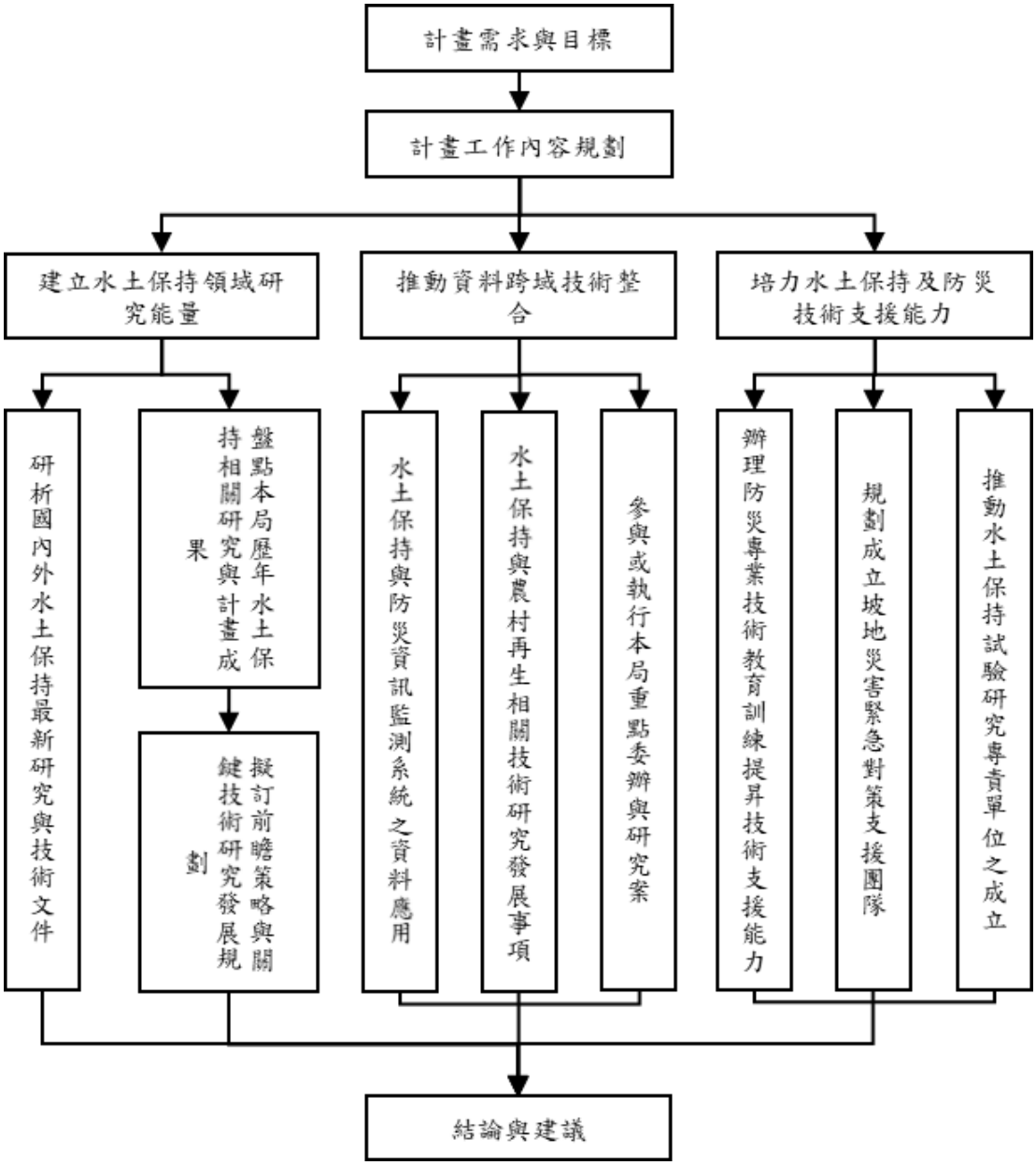

計畫需求與目標
計畫工作內容規劃
建立水土保持領域研究能量
推動資料跨域技術整合
培力水土保持及防災技術支援能力
研析國內外水土保持最新研究與技術文件
盤點本局歷年水土保持相關研究與計畫成果
擬訂前瞻策略與關鍵技術研究發展規劃
水土保持與防災資訊監測系統之資料應用
水土保持與農村再生相關技術研究發展事項
參與或執行本局重點委辦與研究案
辦理防災專業技術教育訓練提昇技術支援能力
規劃成立坡地災害緊急對策支援團隊
推動水土保持試驗研究專責單位之成立
結論與建議

圖 1-1　研究架構圖

第二章 國內外土砂防災技術與氣候變遷文獻蒐集分析

第一節 歷年土砂防災技術與研究成果盤點

水土保持局歷年土砂防災技術與研究成果盤點所累積之基礎資料、核心資料、向量資料、影像資料等成果相當豐碩，為能將資料數位化與彙整，達到資源整合效益、資料分類與流通，對後續成果檢核與發展延續性評估，供水土保持局執行資料管理，並持續檢討各項委辦計畫產出圖資及核心圖資之標準，以作為資料控管之依據。

藉由盤點目項逐一檢視各項委辦及研究計畫所產出之成果，除報告書格式及上傳內容有無缺漏外，其餘各盤點細項主要是將產出資料進行盤點、清查、整合，並探討各項資料之格式及開放資料所需之共通性欄位是否符合水土保持局共通性資料欄位編碼規範，以避免不同時期之產出成果資料格式不一致、不相容。後端資料整合歸檔、儲存與共享，則是以目前水土保持局規劃之基礎資料管理平台，提供資料有效進行整合並共享資源給同仁使用，對於委辦廠商使用需求，提供給委辦廠商使用則依申請審核機制辦理，並為達成開放環境、跨領域合作應用與推廣，利用 API 服務將資料與外單位進行流通與交換。

97 年至 110 年水土保持局各業務組 (中心) 及分局所執行之委辦及研究案共計 3,087 件，其中初步篩選可能包含基礎資料與後續加值應用之案件 (不含農村建設組、秘書室、國會小組等相關計畫)，總計 2,152 件委辦計畫成果報告，並依據各業務單位常使用之參考資料進行詳細的成果盤點。各計畫成果盤點分類統計，期能達成資料彙整與資源共享目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項

目，提出後續應用方向。

一、 盤點工作範圍

(一) 水土保持局及分局委辦及研究計畫成果

本計畫檢視水土保持局歷年委辦與研究案件成果，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料彙整與資源共享為目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向，由上述工作項目規劃盤點架構及流程如圖 2-1 所示。

本項盤點工作是延續過往計畫，今年 (111 年) 持續蒐整水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫之去年 (110 年) 之委辦及研究計畫。其中，依各組室、中心與分局進行分類統計，統計計畫數量如表 2-1 所示。此延續計畫自 97 年延續盤點至本計畫之委辦與研究案共計 3,087 件，平均每年約 200 件委辦計畫。

今年 (111 年) 盤點 110 年相關委辦計畫計有為 222 件，初步篩選可能包含基礎資料與後續加值應用之案件 (不含農村建設組、秘書室、國會小組等相關計畫) 共 143 件，以計畫性質進行區分如圖 2-2 所示，共計可分為前瞻基礎建設計畫第 3 期特別預算、山坡地農路改善、平地農路改善、整體性治山防災、氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫、農村再生社區發展及環境改善、農村規劃及培力等 7 大類別。其中以整體性治山防災計畫盤點數量 76 件最多，次之為氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫盤點數量共 43 件。

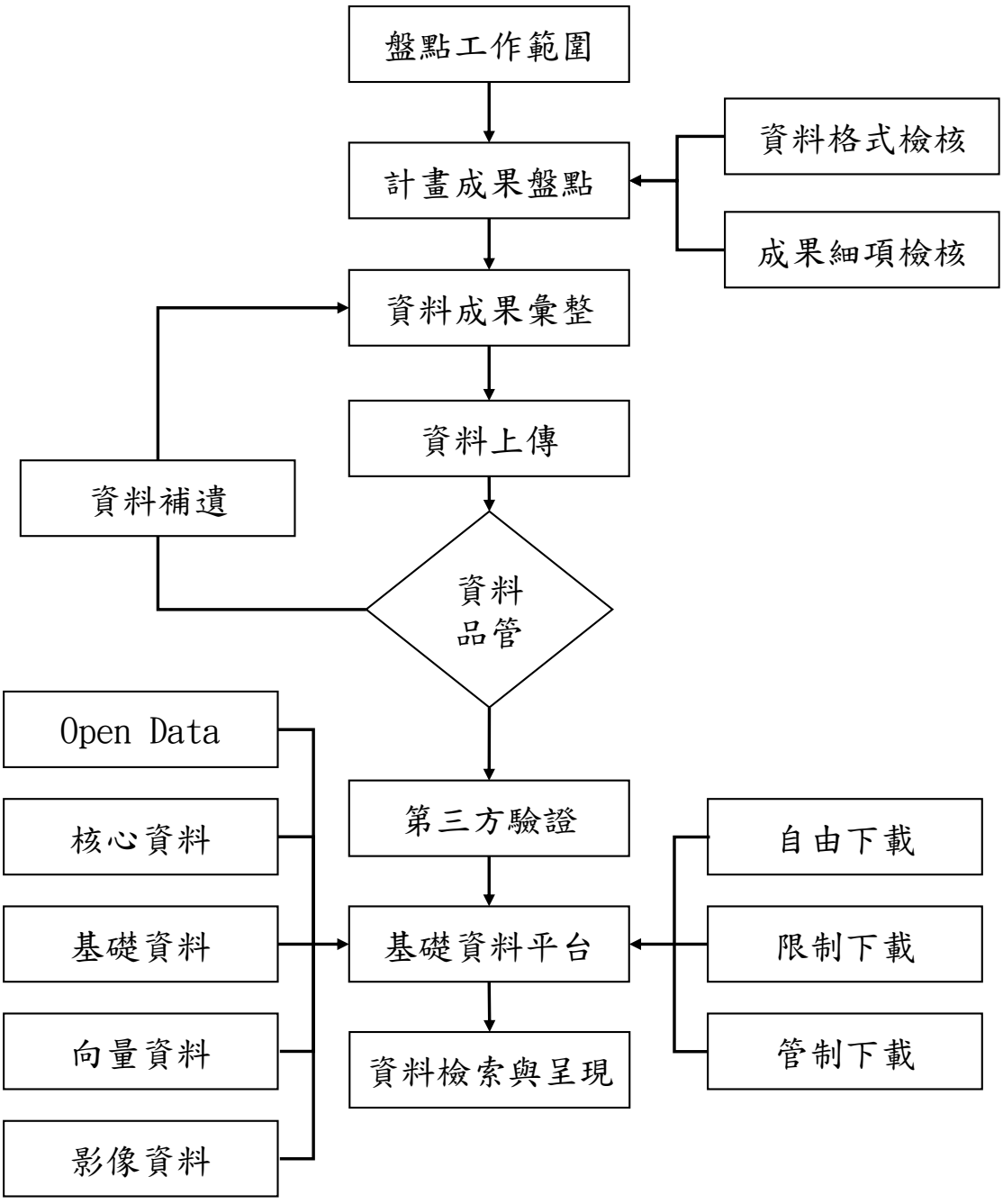


圖 2-1　盤點工作架構及流程

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計

年度 / 各組室(分局)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	個別加總
綜合企劃組	8	26	24	15	26	25	23	23	18	13	11	10	13	11	246
保育治理組	24	16	15	16	13	13	21	23	36	34	30	23	28	26	318
農村建設組	17	21	22	27	26	21	23	21	23	21	18	19	20	19	298
監測管理組	15	12	12	11	11	9	11	7	9	13	12	16	12	9	159
土石流防災中心	14	43	35	29	27	20	29	24	19	18	18	18	20	23	337
技術研究發展小組	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	12	11	11	49
臺北分局	11	28	19	10	15	14	17	18	21	28	22	22	27	23	275
臺中分局	14	34	21	18	20	20	20	22	20	31	27	29	20	20	316
南投分局	16	44	21	22	26	21	24	23	21	29	20	28	22	29	346
臺南分局	23	40	11	13	23	23	21	18	16	20	23	24	19	19	293
花蓮分局	9	24	14	15	17	18	19	14	13	16	15	14	13	13	214
臺東分局	7	23	20	12	14	16	17	14	12	14	14	14	12	15	204
國會小組	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
秘書室/行政科	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	7
秘書室/總務科	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	2	8
政風室/辦公室	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	5
國際合作小組	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
專門委員室	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
年度加總	158	311	215	189	219	201	227	209	214	242	224	235	221	222	總計 3,087

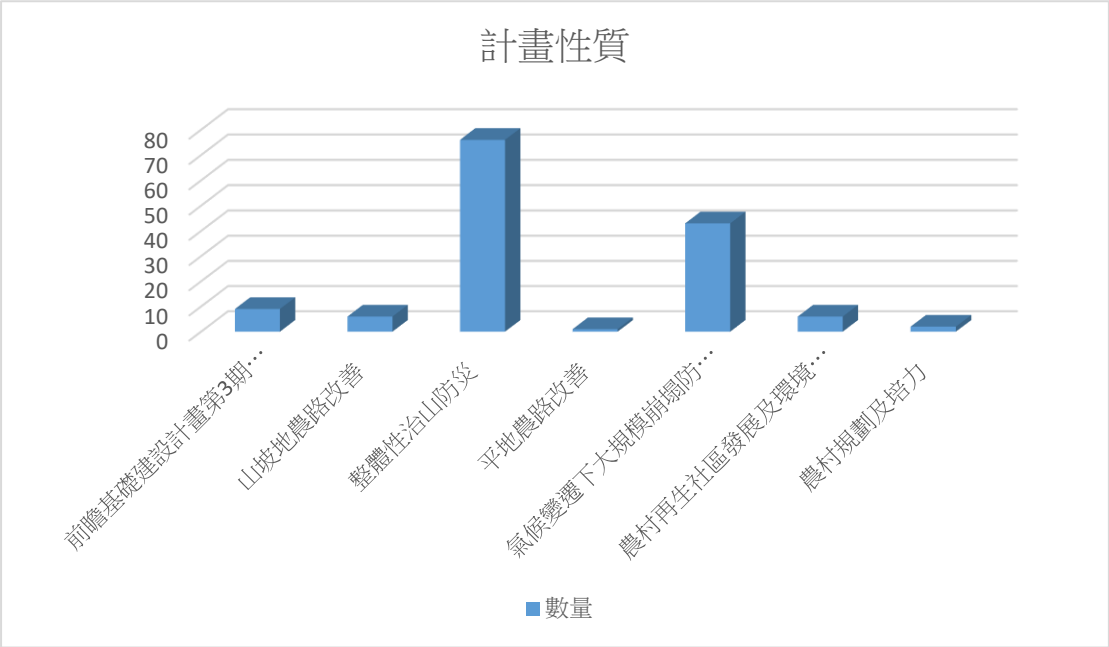


圖 2-2　110 年委辦計畫性質數量統計

(二) 委辦計畫成果盤點工作項目說明

本次盤點工作重點係對於計畫成果進行細部盤點，將盤點工作項目分為 30 項，主要是依照報告格式及上傳內容有無缺漏、航遙測影像資料(含 UAV 及其產製資料，如數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)、數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 及數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM))、集水區水文資料、集水區地文資料、監測儀器相關資料、現場調查 (災害照片、構造物調查)、生態檢核 (生態敏感區位、重要物種棲地)、教育訓練及出版品 (專書、海報、微電影)、特殊分析技術等等項目進行盤點，依 30 項細部關鍵項目進行盤點作業，詳表 2-2。

表 2-2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表

編號	盤點項目 (單位)	內容說明
1	報告書格式之正確性	是否符合水土保持局格式、完整單一檔案、能下載查看等等
2	檢核電子書之正確性	是否能在線上使用，是否與報告書內容一致
3	UAV 拍攝項目 (處)	斜拍、正射、DSM、影片、環景、3D 建模
4	航遙測影像相關圖資	光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星
5	光達產製 DEM	是否有產製 DEM 或者是紅色地圖相關研究
8	河床質調查數量 (處)	報告書中針對河床質調查量測報告，是否有完整實驗成果資料
9	土壤力學參數	產出相關土壤力學參數，如 C、 φ、 Kh 等
10	雨量資料 (年平均)	針對研究區域蒐集平均雨量相關資料
11	重現期雨量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期雨量
12	重現期洪峰流量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期洪峰流量
13	土砂產量推估計算 (土砂收支)	運用土砂量計算公式或是數值模式推估集水區土砂產量
14	運用數值模式計算 (數值模式名稱)	如降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式、警戒模式
15	監測站相關資料 (處)	計畫研究區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站
16	土壤沖蝕相關資料	如紀錄沖蝕針相關量測資料

編號	盤點項目 (單位)	內容說明
17	崩塌量測儀器	如雨量筒、地質鑽探、地下水監測站、孔內傾斜儀、伸縮計、GPS 變位計、地表位移樁等等
18	地球物理探測相關資料	如地電阻、孔內電測(自然電位、電阻率、射線等)、孔內攝影
19	平台建置 (維護)	委辦計畫之平台建置與維護並記錄其名稱
20	崩塌判釋	如地表地質調查、衛星影像判釋
21	災害案例或工程案例相關	災害案例、治理工法、工程案例的詳細調查研究報告
22	迴歸公式 (屬性)	迴歸公式並記錄其應用屬性(崩塌面積、體積估算、流量估算、流速估算、災損估算)
23	災害照片紀錄	蒐集災害相關照片
24	構造物調查	紀錄構造物調查並統計件數
25	實境模擬相關	是否將水土保持局業務結合最新科技如 VR、AR、MR
26	生態檢核相關	如生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善建議
27	教育訓練	統計報告書中教育訓練項目與其類型
28	相關出版品	如專書、摺頁、海報、影片、微電影
29	值得進入倉儲系統的圖資	研究是否有產出新的空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資
30	特殊分析技術	其他有特別可以紀錄的內容或是技術如水下聲納探測、光學式自動化雨滴頻譜儀、海事衛星通訊整合、地聲探測

二、 盤點成果彙整分析

97 年至 110 年委辦及研究計畫成果，扣除農村建設組、秘書室、國會小組等計畫共計 2,152 件委辦及研究計畫成果，以目前盤點成果顯示每年逾 200 件研究計畫產出成果相當豐碩，為掌握歷年盤點成果，技術研究發展小組先行將今年 (111 年) 盤點成果進行資料數位化 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻)，並彙整於水土保持局基礎資料管理平台，在資料之呈現上考量各計畫研究區調查時間及空間關係，以年度、縣市、關鍵字、空間範圍等選取方式以利使用者進行檢索查詢 (如圖 2-3)。盤點資料成果，可以概略分成：空間資訊類、現場 (監測) 資料類、數值模式類、集水區相關類、加值應用類、教育訓練與出版品 (專書、海報、影片) 等六大類，如表 2-3。



圖 2-3 資料管理平台-綜合資料查詢

表 2-3 盤點資料成果類別

類別	項目
空間資訊	航遙測資料、UAV 資料、紅色地圖
現場 (監測) 資料	雨量、流量、地下水、鑽探、地電阻
數值模式	降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式
集水區相關	河床質、斷面測量、水文資料、生態調查
加值應用	三維模型、環景影像、擴增實境 (Augmented Reality, AR)、虛擬實境 (Virtual Reality, VR)、混合實境 (Mixed Reality, MR)
教育訓練與出版品	專書、海報、影片

根據歷年盤點統計結果，2,152 冊報告書中有 1,485 冊符合規定格式，電子圖書則為 1,340 冊符合，其餘不符合規定之主要的樣態包含：未上傳單一完整檔案、報告書內容格式有誤、電子書不完整等，皆列為不符合項目，後續將持續提醒承辦單位追蹤並補上符合規定之格式檔案，盤點歷年統計結果如表 2-4 所示。

表 2-4 細部盤點項目與統計數量

編號	盤點項目 (單位)	統計數量
1	報告書格式正確	1,485 符合
2	電子書完整與報告書相同	1,340 符合
3	UAV 拍攝 (處)	2,899
4	申請遙測相關圖資	2,723
5	運用光達產製 DEM	122
6	斷面樁設置數量 (支)	161
7	斷面量測 (處)	392
8	河床質調查數量 (處)	396
9	有土壤力學參數參考	89
10	有年平均雨量資料	307
11	有重現期雨量資料	239
12	有重現期洪峰流量資料	212
13	有土砂產量推估計算	278
14	有運用數值模式	437
15	監測站相關資料 (處)	681
16	有沖蝕針運用相關資料	27
17	有崩塌儀器量測資料	2,098
18	有地球物理探測相關資料	208
19	有相關平台建置、維護	259
20	有運用崩塌判釋技術	453
21	災害案例或工程案例相關	210
22	有產出回歸公式	47
23	有災害照片紀錄	155
24	有構造物調查	1607
25	虛擬實境、擴增實境相關	29
26	有生態檢核相關	268
27	有教育訓練	1362
28	有產出相關出版品	1111
29	值得進入倉儲系統的圖資	165
30	有包含特殊技術分析	244

(一) 空間資訊類

在盤點各委辦研究計畫時，以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料加值應用如 H.O.S.T 地圖、CS 地圖 (圖 2-4) 等資料作為檢核項目，可以發現產製成果資料豐碩；將委辦廠商所產出之資料成果透過電子圖書管理中心系統進行上傳後，再由後端程式介接至各資料儲存伺服器統一管理，並將成果公開於 BigGIS 上 (圖 2-5)，方便民眾及局內同仁共同使用，提升資源之使用效益，並達成有效資源整合與共享，對比過往資料僅委辦廠商使用即儲存在地理倉儲系統，其資源流通及使用效益有明顯改善 (圖 2-6)。

其中 110 年的委辦計畫中相較歷年特別的應用有兩個成果，第一個成果是【陡坡坡面排水渠道消能設施應用及監測】計畫中，在工程施工前期調查時，利用 H.O.S.T 地圖進行蝕溝與崩塌地現況判釋，快速找出蝕溝發展位置與崩塌地各部位受侵蝕狀況，相較傳統航照與現地調查更能及時發現問題與提出解決方案 (圖 2-7)；第二個成果是【雲嘉地區災害重點區智慧禦災能力分析與應用】計畫中，利用水保局南投分局轄區內 90-109 年度空載光達 (LiDAR) 點雲資料製作 15 處微地形立體地圖 (紅色地圖)，並完成所有處數災害重點區判釋，包含崩塌地、蝕溝、河溪工程構造物、溪床、道路分佈等，提供未來防災與治理參考依據 (圖 2-8)。由上述兩個成果可得知，未來利用微地形立體地圖 (紅色地圖) 進行工程調查會更趨近於快速與精準。

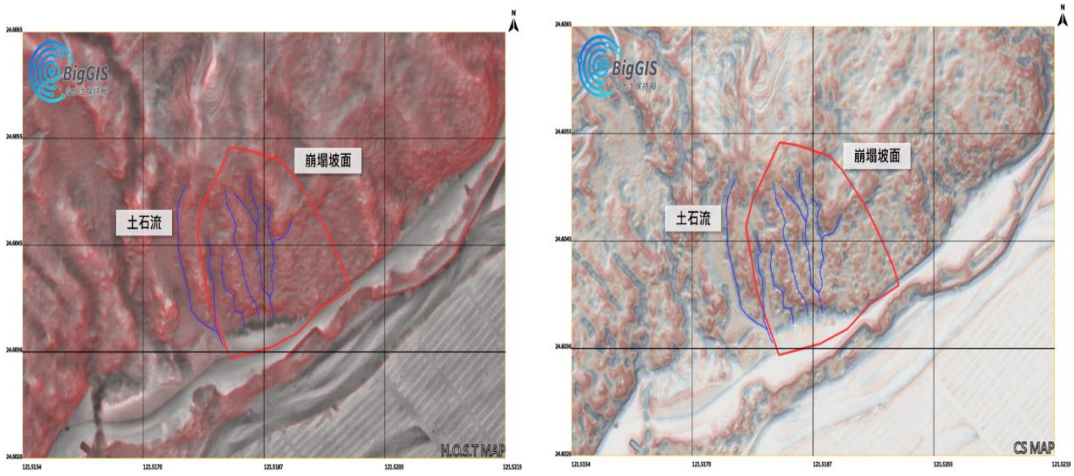


圖 2-4　H.O.S.T 地圖與 CS 地圖應用案例



圖 2-5　空間資訊資料成果應用 (BigGIS)

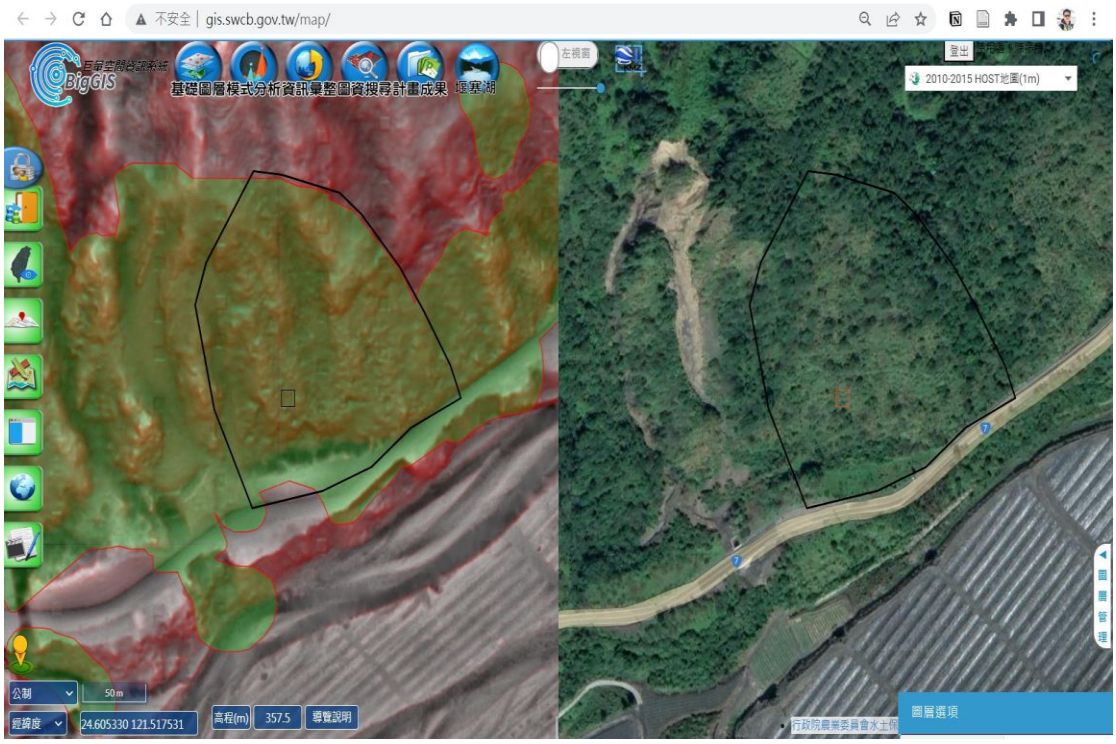


圖 2-6　BigGIS 應用案例-20221016 台七線 86.5K 崩塌判釋

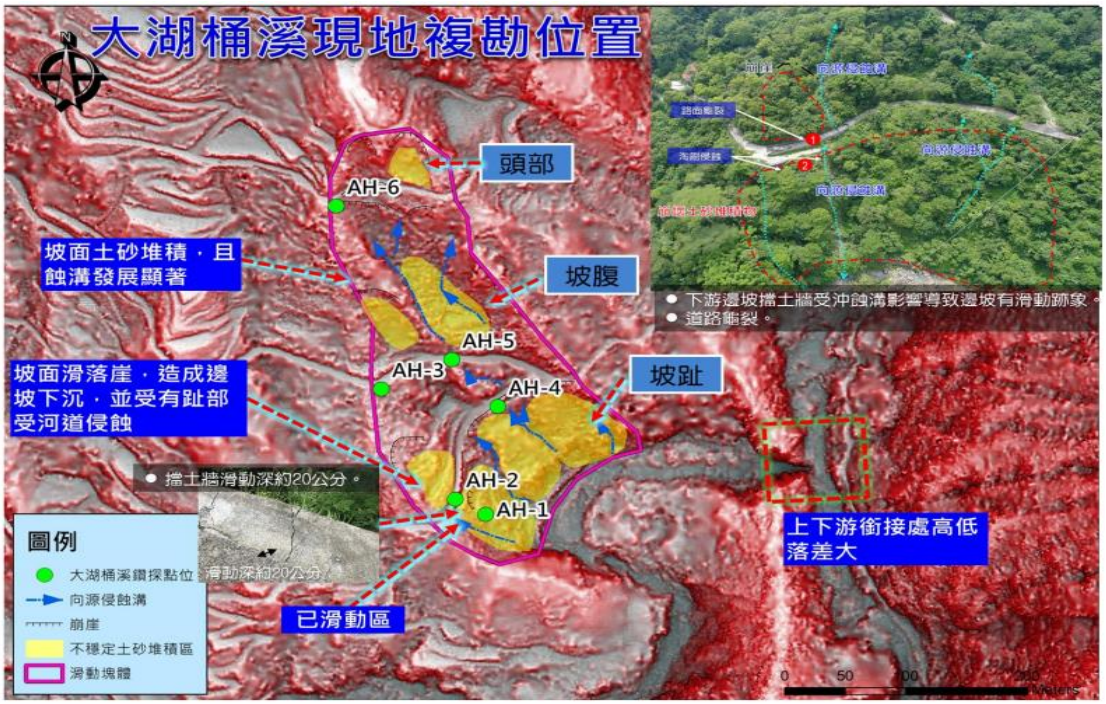


圖 2-7　以 H.O.S.T.地圖協助判釋施工區內蝕溝與崩塌地現況

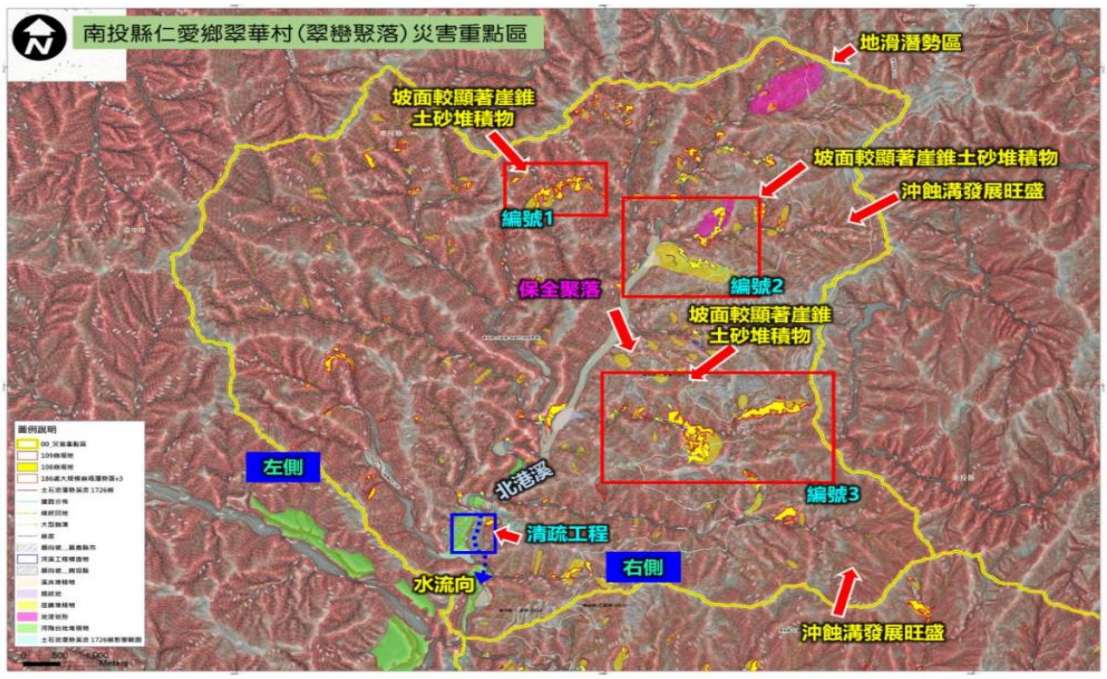
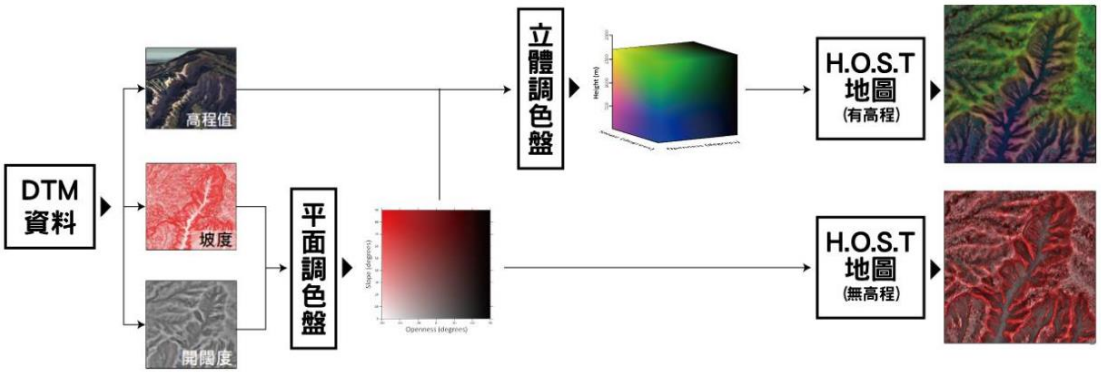


圖 2-8　以空載光達 (LiDAR) 製作微地形立體地圖 (紅色地圖) 及判釋災害重點區

H.O.S.T 地圖相較於傳統赤色地圖，除了有可以顯示高程值之優勢外，在坡度、開闊度等演算方法也有所不同，在傳統赤色地圖的繪製中，坡度與開闊度僅有單一的計算方法，而在 H.O.S.T 地圖中，坡度的計算方法可依使用者需求選取所需要套用的計算方法 (圖 2-9)。



資料來源：https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsRedMap

圖 2-9　H.O.S.T 地圖製作原理

(二) 現場 (監測) 資料類

於細項資料盤點時，對於委辦研究計畫設置現場監 (觀) 測站

(如土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站)進行盤點，透過地表沖蝕、雨量、流量、地下水、GPS、傾斜計、地電阻等儀器進行資料記錄，提供現場研究區各項重要基礎資料，對於瞭解各集水區長期變化趨勢具有相當大的助益，亦可作為工程人員及相關單位於災害事件前後治理工程之規劃、設計及工程治理成效等之參考依據。

其中 110 年委辦計畫中針對觀測站監測類型部分，以大規模崩塌為最多，流量與土砂為次之，顯示水保局近年針對大規模崩塌的災害十分重視，並且著重在山坡地的集水區基礎資料蒐集；針對監測儀器部分，以傾斜儀使用最多，地表位移樁與地下水為次之，顯示針對崩塌地監測以傾斜儀使用頻率最高，並且搭配地下水的監測與地表位移樁的位移情形進行監測，地球物理探測部分，以常用的地電阻探測為最多，孔內攝影與孔內電測尚未普及利用。

相較歷年，110 年的委辦計畫中，有較為特別的兩個應用成果，說明如下：

1. 110 年度隘寮溪上游 (隘寮北溪、隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游) 等集水區災害變遷調查規劃

利用**地基雷達 GB-SAR** 監測佳暮崩塌地，相較傳統的衛星影像、航照、SAR 而言，其較不易受天氣影響精度，並且具有機動性、低成本、量測範圍廣等優勢，為地形地貌變異監測的新趨勢，如圖 2-10。

2. 110 年度大規模崩塌防災整備暨監測情資研判

利用**模糊分析法**結合儀器監測崩塌地所得之數值，給予權重與評分，得出警戒等級，提供未來崩塌地判釋後，該地區保全對象是否撤離的依據，如圖 2-11。

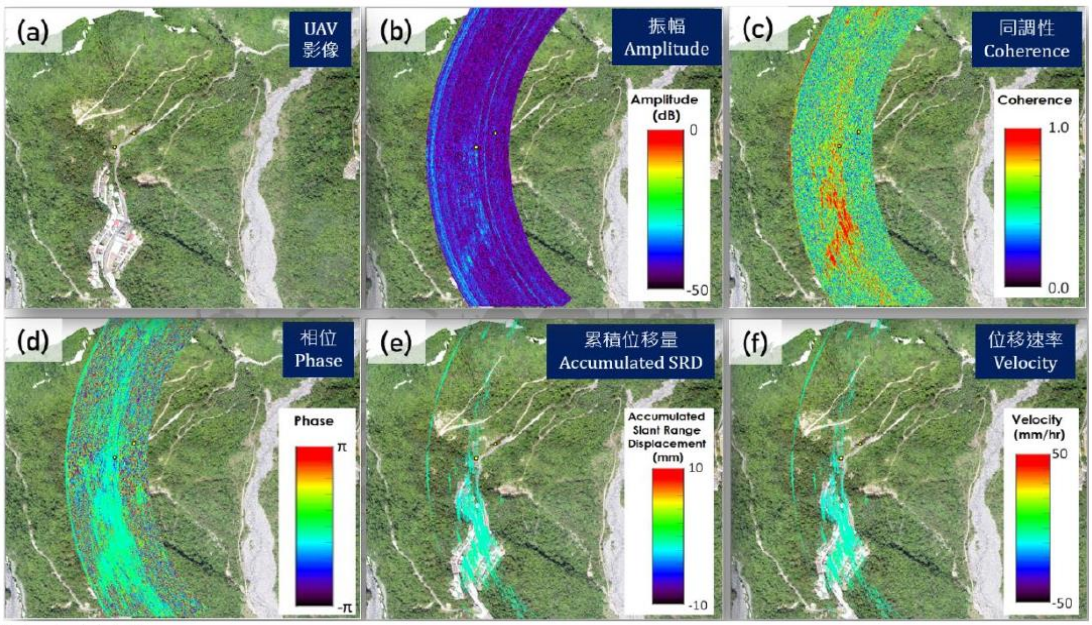


圖 2-10 地基雷達 GB-SAR 施設成果影像

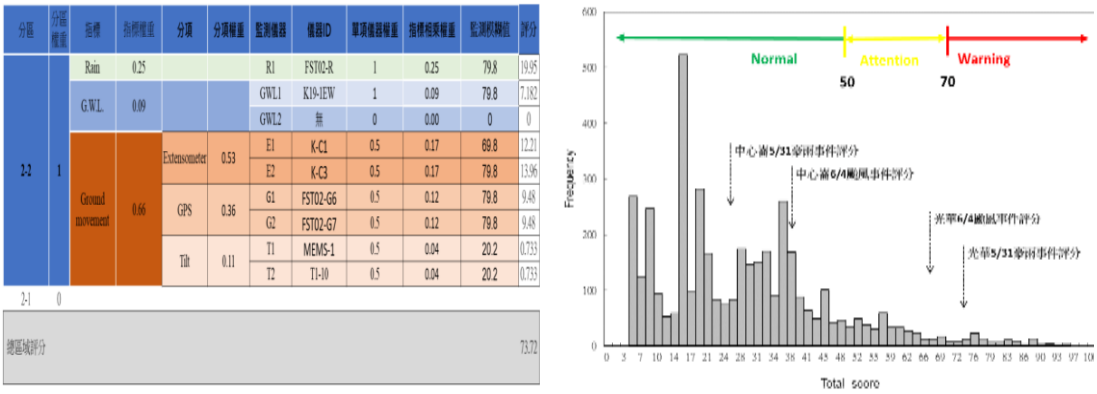


圖 2-11 以模糊分析法判釋崩塌地警戒等級

(三) 集水區相關類

此類係為基礎研究所需之重要調查資料，主要針對集水區之河床質、斷面測量、坡面測量、水文、地文、及生態等資料進行蒐集。

依委辦計畫成果，獲取此類資料方式來源可分成定點儀器量測、現場採樣作業及室內物理分析等方式，所得成果可供後續水文、水理、土砂收支、邊坡穩定等數值模擬分析使用。

針對河床質部分，在 110 年委辦計畫中，共有 229 處的河床質資料，後續模式模擬時，如需輸入「粒徑」之相關參數，可提供足夠的

參考資料；土壤力學參數部分則有凝聚力 C、內摩擦角 φ、水平地震力係數 Kh、標準貫入試驗 N 值，可提供未來模式模擬參考使用。

相較歷年，在 110 年的委辦計畫中，有三件較為特別的應用成果，說明如下：

1. 築壩式重點農塘之韌性水資源環境調查與永續發展評析

針對水保局台南分局轄區 41 處口築壩式重點農塘進行現地勘查，利用遙控船結合聲波測深儀進行農塘整體深度與體積量測，可相對傳統拋擲式聲波測深儀到達水池中心與提高準確度，並作為後續農塘監測、永續發展效益評估等工作執行參考，如圖 2-12。

2. 築壩式重點農塘調查與滯洪農塘改善效益分析

利用透地雷達於築壩式農塘的壩頂進行量測，可得知壩縫內土體結構情形 (例如是否有孔洞、疏鬆區、淘空區或滲漏區)，提早發現壩體裂縫並提供未來維護改善建議，如圖 2-13。

3. 110 年度集水區土砂監測站維運與分析計畫

利用日本管式水聲計與板式水聲計進行蒐集土壤顆粒撞擊聲音並轉換波形紀錄，得到不同放大倍率之顆粒撞擊次數，後續再透過撞擊次數與通過水聲計之土砂重量的線性關係來進行土砂運移量之估算，相較過去利用公式估算結果更能精準表現土砂輸砂情形，並結合濁度計、水位計等建置水砂觀測站的長期蒐集，提升集水區分析與防災預警的能力，如圖 2-14。

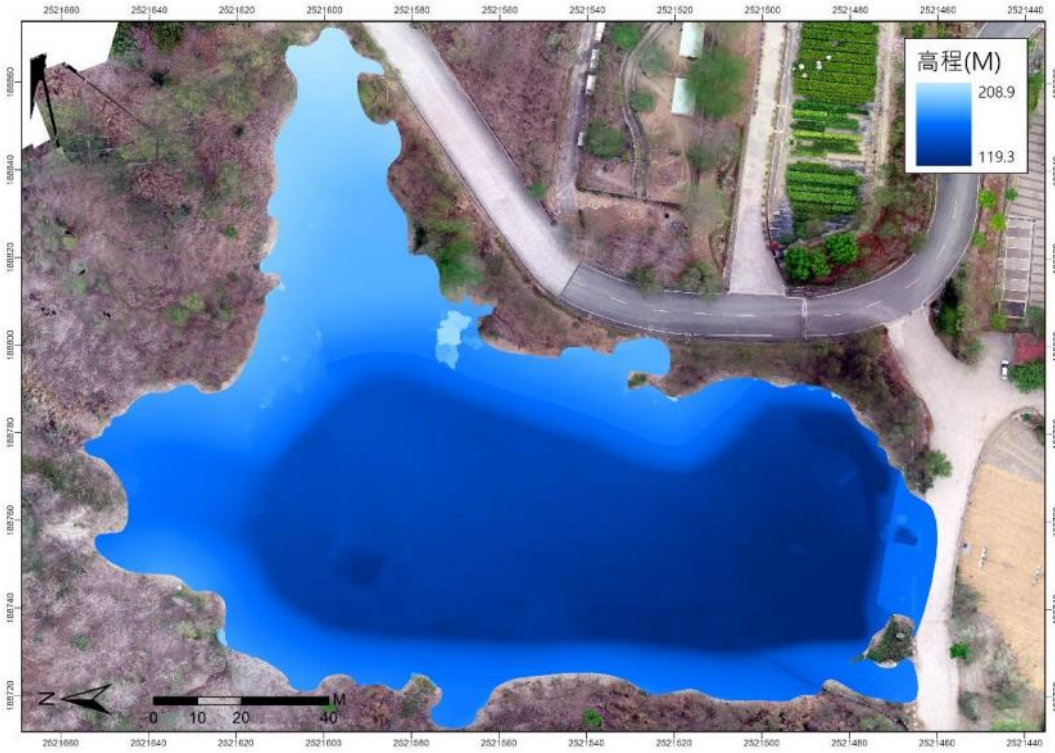


圖 2-12 測深船量測成果

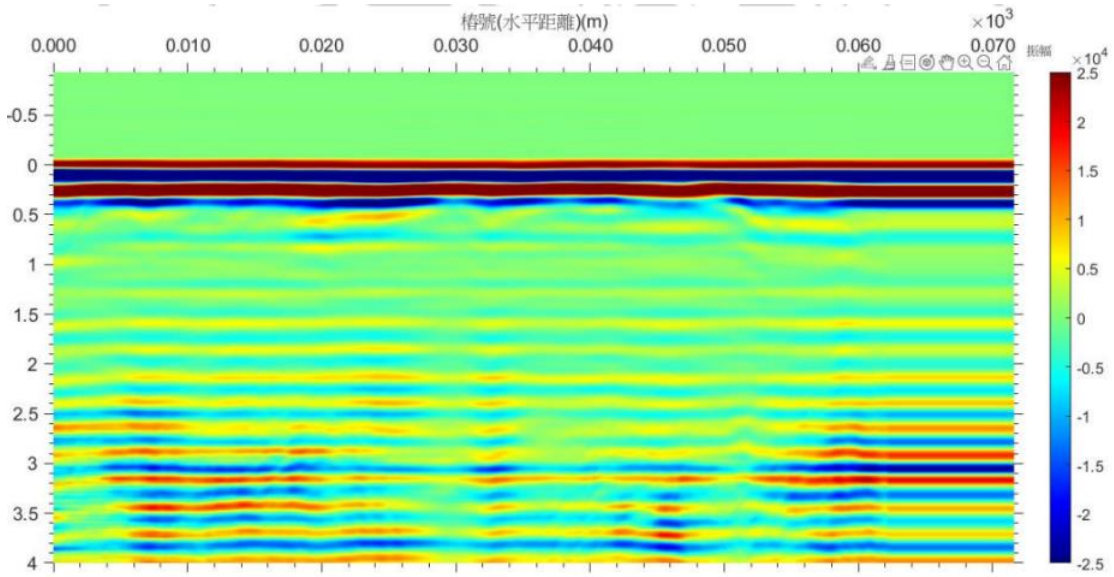


圖 2-13 透地雷達量測成果

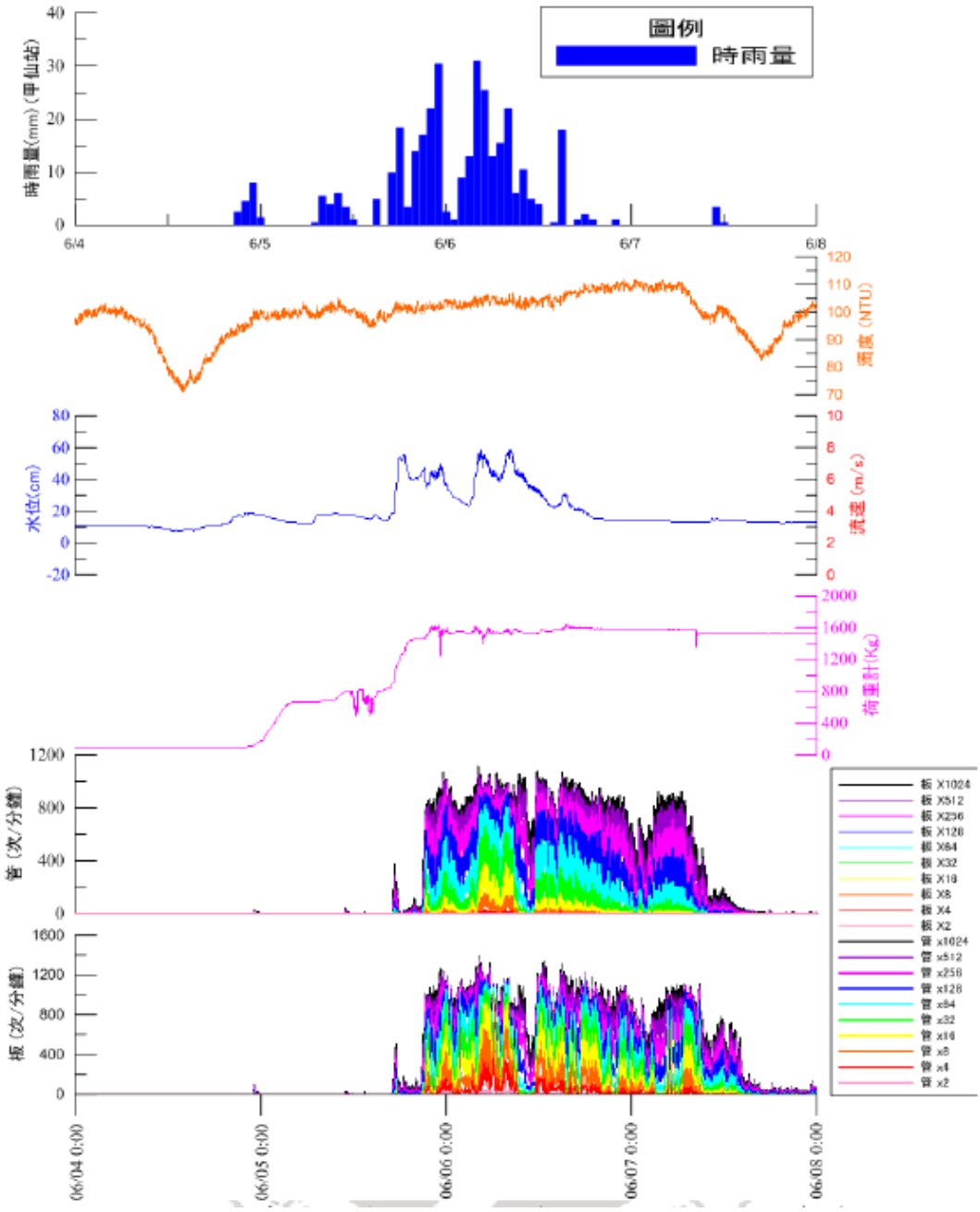


圖 2-14　水砂觀測站觀測成果

(四) 數值模式類

主要是應用不同類型之數值模式模擬估算降雨與逕流 (流量歷線)、水理 (水深、流速、影響面積)、土砂潛勢影響區 (崩塌區、流動區、侵蝕區、堆積區)、邊坡破壞面 (臨界破壞深度、破壞面、滑動量體)，並透過現場 (監測) 資料及集水區相關資料成果進行模式參數的

率定驗證，由模擬成果進一步迴歸不同屬性之經驗公式，推衍災害事件後續長期趨勢變遷，且配合不同情境假設進行演算，供後續工程設計及管理單位參考。

彙整 110 年委辦計畫中所使用之數值模式，如表 2-5，以「邊坡穩定」佔最多，相較其他類型，委辦計畫在邊坡穩定部分探討較為深入。相較歷年成果，在 110 年的委辦計畫中較特別的應用分述如下：

1. 110 年度臺南分局保育治理專案管理計畫

採用一維水文水理 CCHE-1D 模式模擬集水區重現期 5、25、50 年降雨情境下土砂變動趨勢，以掌握土砂變動情形，如圖 2-15。

2. 臺東分局強化創新工法應用之可行性研究計畫

為增加水保局臺東分局內自有防汛能力，採用空拍機進行地形建模，再利用二維水理 CCHE-2D 模式模擬預鑄塊體拋放於野溪中後，河道土砂沖淤變化，進而提出相關預鑄塊體拋放機制，如圖 2-16。

3. 110 年度花蓮縣卓溪鄉卓溪村 D010、太平村 D007 及古風村 T001 潛在大規模崩塌調查監測計畫

利用現地鑽探調查與相關力學試驗分析成果，採用 RAMMS 模式模擬潛在崩塌影響範圍及其對重要設施保全影響分析，進而提供整體監測及治理方案之規劃依據，如圖 2-17。

4. 110 年度苗栗縣泰安鄉、卓蘭鎮與臺中市東勢區潛在大規模崩塌監測計畫

以 24 小時累積雨量 130 mm、230 mm、330 mm、400 mm、500 mm 及 600 mm，利用 SEEP/W 降雨入滲模式，分析地層孔隙水壓隨時間之變化情形，所得結果作為 SLOPE/W 模式所需之孔隙水壓資料，並分析邊坡穩定性，提供防災規劃之參考，如圖 2-18。

5. 110 年土石流潛勢溪流調查評估與資料更新

以土石流模擬軟體 RAMMS::DF 進行土石流情境模擬，再將模擬結果，如堆積深度、流速等結果匯出，用以計算土石流之衝擊力，並根據模擬結果探討土石流衝擊力對建築物之影響，如圖 2-19。

表 2-5　110 年委辦計畫常用數值模式

模式類型	模式名稱
一維水文水理	CCHE1D
二維水文水理	CCHE-2D、FLO-2D、HEC-RAS、HEC-HMS
邊坡穩定	FLAC、Slide3、STEDWin、RAMMS、Spencer、SINMAP、SHALSTAB 、TRIGRS、FLAC2D、Geo-Studio、SLOPE/W、Slope、GALENA 5.0
降雨入滲	SEEP/W
土石流模擬	RAMMS、Hyper Kanako、FLO-2D

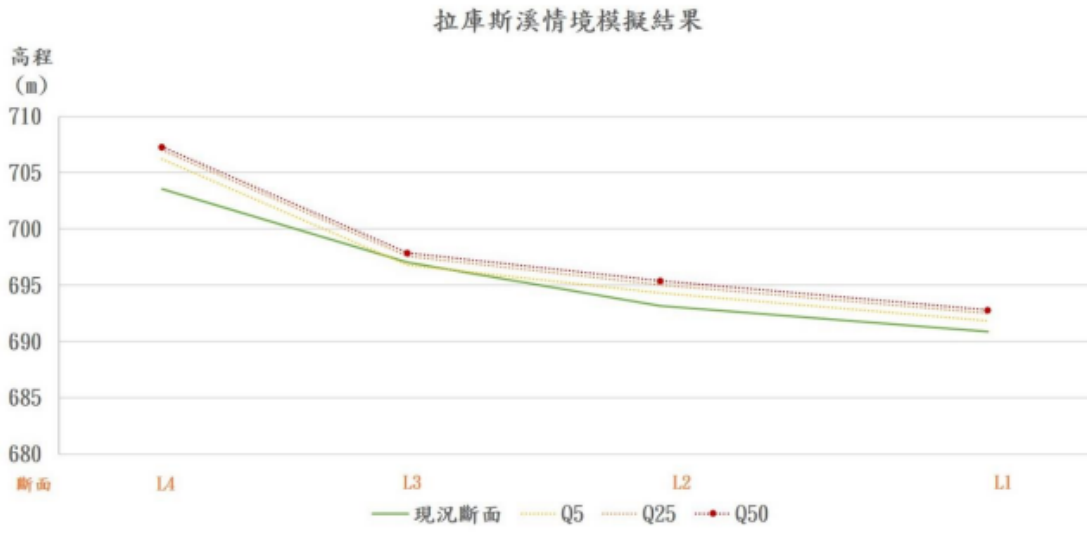


圖 2-15　CCHE-1D 模擬集水區內斷面沖淤變動情形

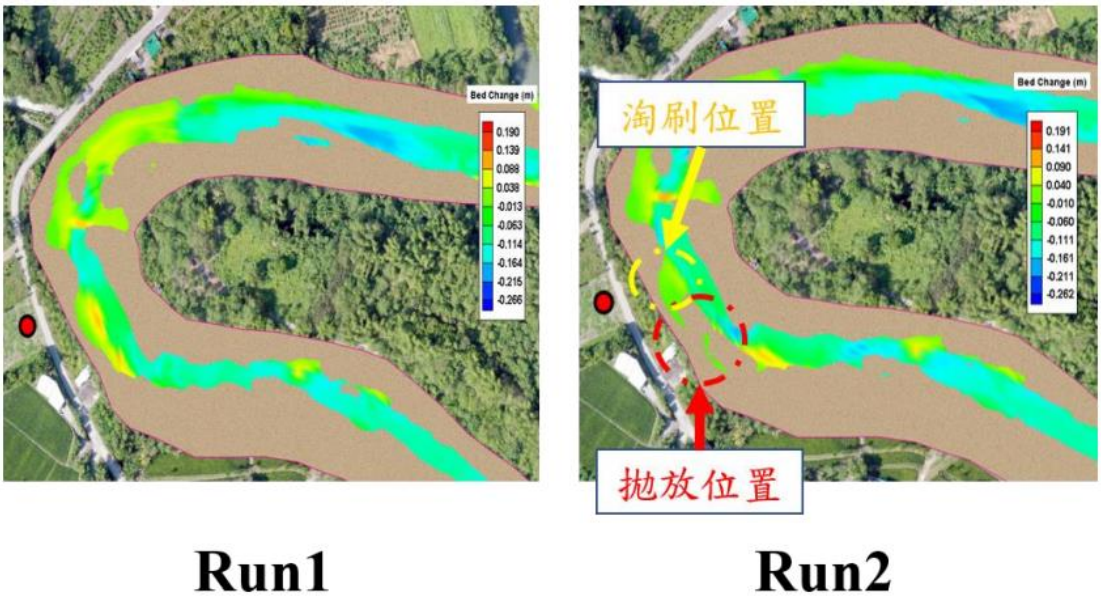


圖 2-16 CCHE-2D 模擬拋放預鑄塊時河道沖淤變化

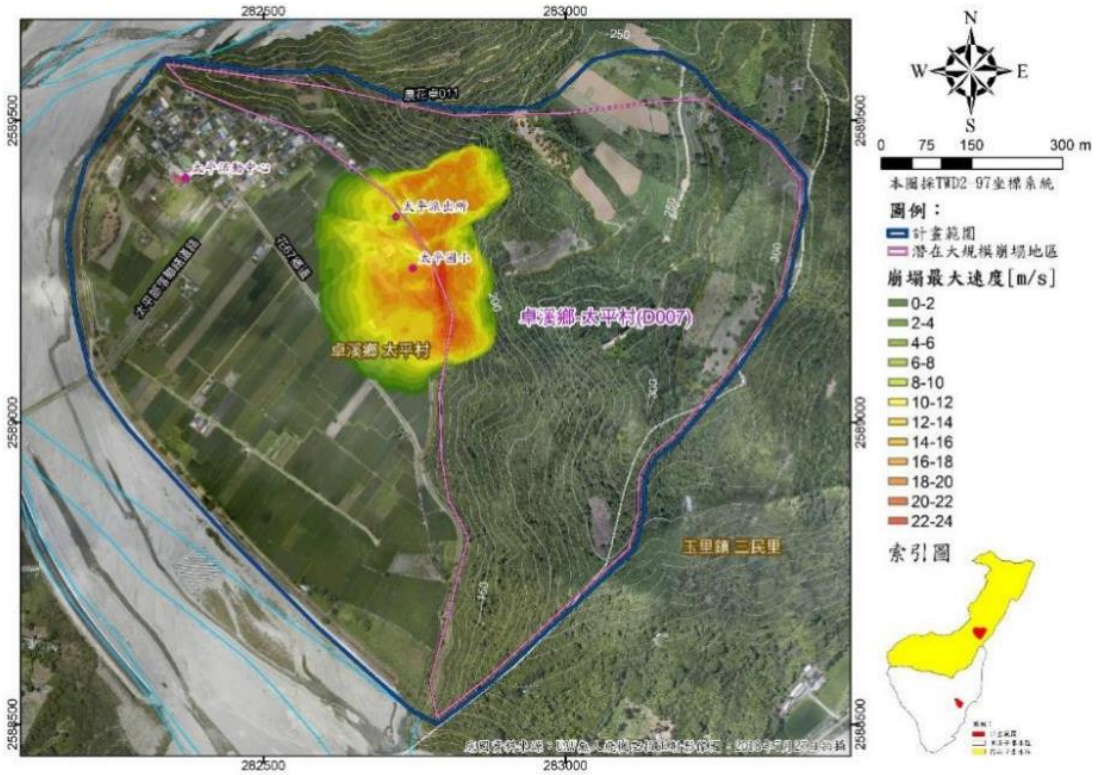


圖 2-17 RAMMS 模擬潛在崩塌影響範圍及對重要設施影響分析

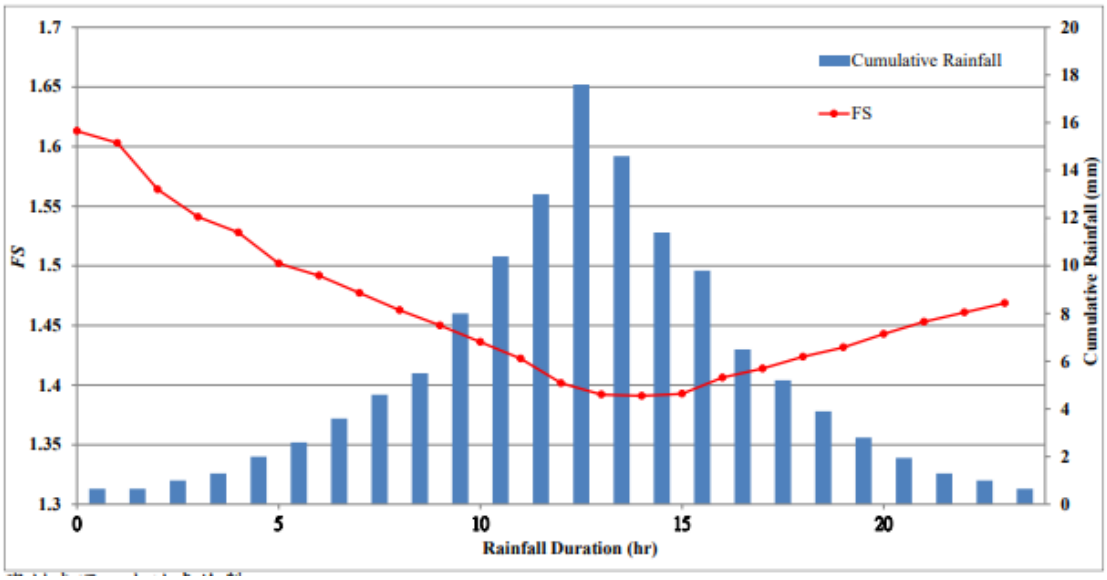


圖 2-18 SEEP/W 模擬地層孔隙水壓對邊坡穩定之影響分析

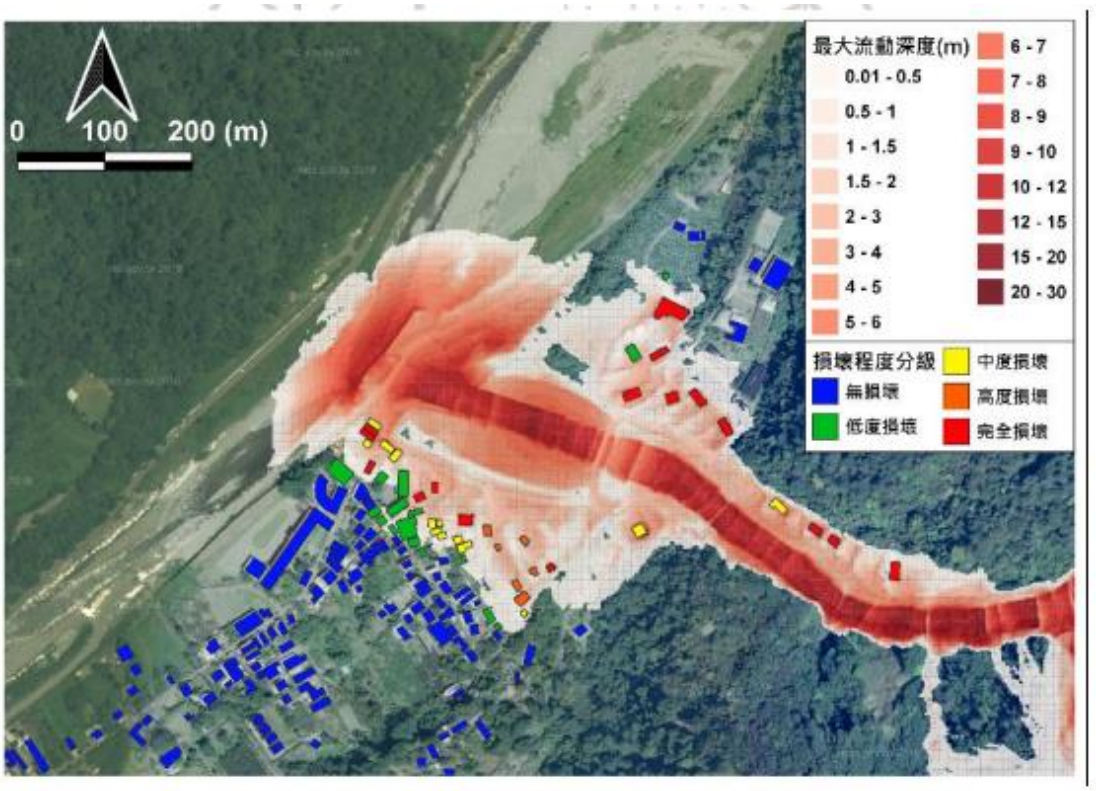


圖 2-19 RAMMS::DF 模擬土石流衝擊力對建築物之影響

(五) 加值應用類

在資料加值應用類方面，是以 UAV 影像資料之加值應用成果如三維模型、環景影像、AR、VR、MR 等數位三維科技之體感應用，讓使用者透過穿載裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間，體驗災害區之現況，可作為工程設計及規劃探討之用，亦可透過如沉浸式訓練平台之輔助，作為工程人員教育訓練之用。

相較歷年成果，在 110 年的委辦計畫中特別的應用成果說明如下：

1. 水土保持 3D 虛擬實境數位展館暨導覽建置計畫

以水土保持局歷年典藏文物、「淼垚众-水土保持局 60 週年特展」展覽內容、水保局四大重點業務介紹等三個主題，利用 VR 技術加深互動體驗，讓體驗者更能身歷其境，導入水土保持之理念，成功傳遞水保重要性，如圖 2-20。



圖 2-20　水土保持 3D 虛擬實境數位展館成果

(六) 教育訓練與出版品

各項委辦計畫在教育訓練主要分成兩個類別，分述如下：

1. 對民眾宣導活動

如土石流防災教育宣導、酷學校行動知識、水土保持教育宣導，並透過水土保持相關出版品，使民眾易於瞭解水土保持、土石流防災教育相關知識，了解山坡地災害潛勢，學習面臨大規模災害的應變措施。

2. 提升水土保持局工作同仁專業技能知識

如工程技術、治理工程、生態檢核、職業安全衛教、資訊安全管理、固床工設計研習、水土保持工程管考系統教育訓練、大規模崩塌災害調查及治理策略教育訓練等，除了業務職能外，藉由各類型教育訓練提供同仁在技術面、工程面、資訊面、法制面等不同層面之技能知識學習並強化自主技術能力，如圖 2-21。

課程列表

	課程名稱	梯次名稱	主辦機關/單位	上課時間	名額	報名	通過	報名	報名時間
1 內	seminar專題演講	預鑄塊石、塊石模組及固床結構、推動花蓮縣空間資訊發展及跨域應用之經驗分享	局本部/技術研究發展小組	2022/11/01 10:00 至 2022/11/01 12:00 (課程詳情)	25	2	2	本人報名 代理報名	2022/10/27 至 2022/11/01
2 外	疊塊毯及預鑄固床工設計說明會		臺中分局/治理課	2022/11/02 09:00 至 2022/11/02 12:20 (課程詳情)	40	38	29	本人報名 代理報名	2022/10/07 至 2022/11/01
3 內	水土保持減碳工法(以疊塊毯及預鑄固床工為例)	1	臺中分局/治理課	2022/11/03 10:00 至 2022/11/03 12:00 (課程詳情)	80	23	23	本人報名 代理報名	2022/10/19 至 2022/11/02
4 內	檔案檢調與應用教育訓練	檔案檢調與應用教育訓練	臺南分局/收發室	2022/11/03 10:00 至 2022/11/03 12:00 (課程詳情)	不限制	6	6	本人報名 代理報名	2022/10/25 至 2022/11/02
5 外	111年度水土保持設施調查及土砂易致災關注區評估-構造物巡查相關推廣說明會	南部場	行政院農業委員會水土保持局	2022/11/03 14:00 至 2022/11/03 17:00 (課程詳情)	30	13	13	本人報名 代理報名	2022/10/05 至 2022/11/03

圖 2-21 教育訓練課程

三、 委辦計畫現況及後續精進方向

(一) 委辦計畫歸納小結

由今年 (111 年) 盤點 97 年至 110 年共 2,152 件委辦及研究案件成果，初步分析如下：

1. 空間資訊類

以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料加值應用可作大面積檢視山坡地歷年之變化過程與判釋崩塌地現況，成為時間與空間之記錄資料，精進防災判釋能力與治理參考依據。

依 110 年委辦計畫的資料盤點顯示，立體地形地圖在不同種類下均對工程調查有快速與精準的優勢，相較傳統航照與現地調查更能及時發現問題與提出解決方案，建議未來可妥善利用該技術以讓工程調查達到高精度的成效。

2. 現場與監測資料類

透過地表沖蝕、雨量、流量、地下水、GPS、傾斜計、地電阻等儀器進行資料記錄，提供現場研究區各項重要基礎資料，對於災害潛勢區具有預警之用，並依蒐集的數據即時調整潛勢區治理之軟硬體策略方法，以及嘗試新穎監測技術與警戒模式來提升防災應變能力。

依 110 年委辦計畫的資料盤點顯示，利用高精度之地基雷達 GB-SAR 監測，相較傳統的衛星影像、航照、SAR 而言，其較不易受天氣影響精度，並且具有機動性、低成本、量測範圍廣等優勢；利用模糊分析法得出警戒等級，可提供崩塌地保全對象是否撤離的依據；因此建議未來可發展此兩項技術，提供除空中的大範圍監測外，亦有地面精度高的監測方法，並結合可靠性高的分析方法提供民眾更準確的判斷撤離依據。

3. 集水區資料類

針對蒐集長期集水區資料，提供數值模式輸入參數之使用，以推估山區災害之影響，或工程整治成效評估之用，並且使用不同以往的精密儀器以提高數據精度，以及使用先進儀器蒐集過去技術限制而無發蒐集的資料。

依 110 年委辦計畫的資料盤點顯示，利用遙控船結合聲波測深儀進行農塘整體深度與體積量測，可提高準確度；利用透地雷達可得知築壩式農塘壩縫內土體結構情形，提早發現壩體裂縫並提供未來維護改善建議；利用日本管式水聲計與板式水聲計進行進行土砂運移量之估算，相較過去利用公式估算結果更能精準表現土砂輸砂情形，提升集水區分析與防災預警的能力；因此未來建議未來在集水區防災規劃時，可利用此三種高精度的調查儀器進行作業，作為後續農塘規劃設計、監測、永續發展效益評估、土砂運移監測等工作執行參考。

4. 數值模擬類

因應不同類型的災害與集水區狀況，可透過合適的數值模式來做模擬，並透過不同情境假設，經由合理的參數設定進行演算，所得到之模擬結果可初判未來災害發生之影響程度，提供決策者及管理者防災規劃之參考依據。

依 110 年委辦計畫的資料盤點顯示，在一維水文水理部分採用 CCHE-1D 模式可模擬不同降雨重現期下的土砂變動趨勢；在二維水理部分採用 CCHE-2D 模式可模擬預鑄塊體拋放於野溪中後，河道土砂沖淤變化；在力學試驗分析成果採用 RAMMS 模式可模擬潛在崩塌影響範圍及其對重要設施保全影響分析；在降雨入滲模式部分，利用 SEEP/W 可分析地層孔隙水壓隨時間之變化情形，並分析邊坡穩定

性；在土石流情境模擬部分，利用 RAMMS::DF 可進行土石流情境模擬，根據模擬結果探討土石流衝擊力對建築物之影響；綜合以上各種模擬分析，未來可妥善利用各種數值模擬程式，在不同情況下，輔助了解不易現地試驗之區域而進行室內試驗之功能，得到在防災上快速判釋且靈活應用的效果。

5. 加值應用類

以 UAV 影像資料之加值應用成果等數位三維科技之體感應用，讓使用者透過穿載裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間與體驗災害區現況，可作為工程設計及規劃探討之用與教育訓練之用。

依 110 年委辦計畫的資料盤點顯示，「水土保持 3D 虛擬實境數位展館暨導覽建置計畫」以水土保持局歷年典藏文物、「淼垚众-水土保持局 60 週年特展」展覽內容、水保局四大重點業務介紹等三個主題，利用 VR 技術加深互動體驗，讓體驗者更能身歷其境，導入水土保持之理念，成功傳遞水保重要性。

6. 水保出版品及教育訓練

將水土保持教育生活化，推動相關人員專業技能學習，使民眾有感於氣候變遷與災害頻率及規模擴大等影響，並提升民眾水土保持知識。

(二) 資料管理與維護問題

前期盤點發現,計畫成果產出之專有名詞、資料格式 (欄位命名、類型、代碼)、數化資料 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻)、地理圖資等皆不相同,增加資料之整合、管理、查詢、儲存之難度。因此今年針對此問題進行改善,經由水土保持局針對計畫成果格式進行討論與開會,確定各項資料格式後,目前已要求並告知廠商,各項產出成果所需繳交之標準及格式,並於資料上傳時,使用檢核系統針對廠商所提供之成果進行核對,確定均正確與完整後,才可上傳成功,解決未來盤點時,出現如報告格式錯誤、缺漏,甚至產出資料成果無法數位化等問題。

然在歷年盤點資料亦顯示出目前水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下:

1. 監測系統後續維護管理

各委辦計畫於計畫執行期間,委辦廠商於計畫研究區架設監(觀)測系統,以利蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監(觀) 資料,但是由於各委辦廠商分年分期使用之監測設備不同,亦造成後續資料匯整、補遺上之困難,且於計畫結案後,監測系統亦隨之失去維護,使得資料無法持續蒐集。

2. 檔案上傳完整性不足

目前水土保持局在各期報告附錄、簡報與出版品與教育訓練產出如海報、摺頁、微電影以及多元教育訓練類型皆有豐富且完整的架構及宣導品,惟目前各委辦計畫依合約上傳計畫書檔案後,仍會遺漏部分報告附錄、簡報與出版品產出物進行資料原始檔上傳或繳交。

(三) 後續資料管理精進方向建議

今年 (111 年) 累積歷年盤點成果，既有資料將以先蒐集建檔為主，待未來人力充裕或融入新技術後再進行整理。而未來相關委辦計畫根據上述管理與維護，提出以下建議方法：

1. 由專責單位進行資料整合與管理

由負責資訊業務及資料整合之水土保持局技術研究發展小組作為水土保持局基礎資料及地理圖資管理之窗口單位，每年每季定期召開「資料管理工作圈」會議檢討委辦計畫數值資料、地理圖資及開放資料之管理規章。

2. 建立委辦計畫成果分期上傳制度

目前水土保持局及各分局委辦案廠商在計畫期間建置監 (觀) 測站進行資料蒐集，在驗收時目前部分廠商僅繳交成果報告及簡報資料，建議將監 (觀) 測資料隨期初、期中、期末及驗收階段進行成果繳交，以及相關原始資料或可再次使用的資料集上傳，以免寶貴資料隨計畫期程結束失散，而未能收錄至資料管理平台。

3. 建置成果繳交檢核通知系統

建議於委辦廠商上傳檔案之系統，於各階段成果繳交之頁面跳出各期報告附錄、簡報與出版品與教育訓練產出物上傳提醒視窗，進而提醒廠商將各期報告附錄、簡報與宣導品、海報以及摺頁一併上傳至電子圖書管理中心。此外，另請計畫之承辦人員於上傳後至電子圖書管理中心進行產出檔案檢核，以確保其各期報告附錄、簡報與出版品或教育訓練檔案上傳之完整性。

4. 建立資料整合溝通管道

經盤點本局歷年之委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮。如若藉以每年度配合計畫盤點結果主動與承辦人員進行溝通及協商明年度計畫繳交之重點項目提醒，達到與水土保持局各組室 (中心) 及各分局充分雙向溝通，則有利於各年度計畫產出之水保資料蒐集與維護，加值且應用於平台展示、系統維護、開放資料之進行相關研究計畫使用。以訂定統一的資料收集格式作為近期規劃，而既有資料將以先蒐集建檔為主，待未來人力充裕或融入新技術後再進行整理。

第二節　國外土砂防災技術導入本土化可行性評估

本計畫為持續精進土砂防災技術能量，蒐集國外相關文獻並撰寫成相關電子報公開分享於水土保持局技術研究發展平台網頁，以供國內外各領域專家學者討論。今 (111) 年度共計發表三十篇電子報，內容依類別分成基礎試驗研究 (7)、新興科技應用 (10)、軟體防災對策 (6)、工程技術發展 (5)、前瞻策略與管理 (2)，完整電子報內容詳見附錄五。

111 年度電子報推廣成效截至 112/1/4 統計 (表 2-8)，總閱讀人次為 24,333 人次，平均閱讀人次為 811 人次 (表 2-6)(圖 2-22)；其中以「新興科技應用」類別為最多，佔總期數逾 3 成，顯示電子報偏好於研究國內外新興科技應用如衛星、GIS 圖臺與數位孿生等的相關議題；另外「軟體防災對策」類別為最多每期平均閱讀人次，達 1,150 人次，顯示電子報受眾讀者較有興趣於閱讀軟體操作應用的相關議題，如數位孿生應用、GIS 應用與模擬程式分析等。

表 2-6 電子報各類別期數與閱讀人次統計

類別	期數	閱讀人次	每期平均閱讀人次
工程技術發展	5	3,068	614
前瞻策略與管理	2	1,324	662
基礎試驗研究	6	3,961	660
軟體防災對策	6	6,902	1,150
新興科技應用	11	9,078	825
總計	30	24,333	811

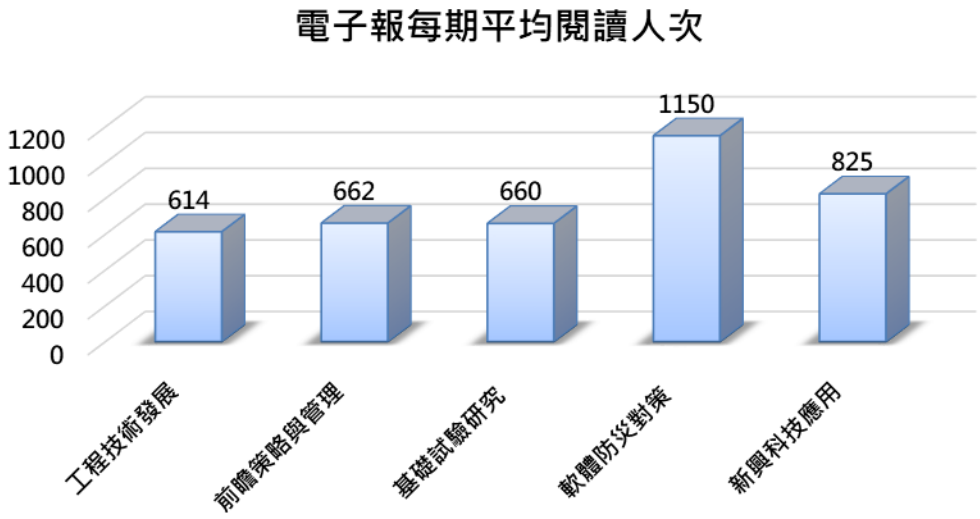


圖 2-22 電子報各類別每期平均閱讀人次統計

從電子報閱讀人次排名 (表 2-7) 顯示，閱讀人次前三名為軟體實際利用相關議題，舉例電子報排名第一名-「用數位孿生重現歷史－從時空夾縫趨吉避凶」中可得知現在不同資料整合應用趨勢的數位孿生議題，介紹國內防災領域已應用的地理資訊系統，整合 IOT 感測、歷史圖資、資訊傳輸等應用的成果與服務；電子報排名第二名-「如何將 CAD 檔轉成 GIS 格式實作示範」中可得知工程常用軟體 CAD 及 GIS 雖為成熟技術，但在跨領域應用時，彼此格式間的轉換及空間定位等問題對工程師形成困擾，文章分享如何使用開源的 QGIS 軟體，以政府開放資料為例進行示範，將 CAD 檔轉換為 GIS 格式 (SHP 及 KML)；電子報排名第三名-「測繪圖資新利器-淺談新式地質製圖方法」中；可得知傳統測繪地質圖係由地質學家實際走訪野外，仰賴地質學家以零星之露頭調查資料結合作圖法推測，並建構出區域地質樣貌，現今空載光達與無人載具產製的數值高程模型 (DEM) 加上地理資訊系統 (GIS)，提供三維的各種光影與視角，讓地質學家補足野外調查的限制與節省耗費於野外為尋找合適露頭的時間。

表 2-7 電子報閱讀人次排名

閱讀人次排名	電子報名稱	閱讀人次
1	用數位孿生重現歷史－從時空夾縫趨吉避凶	1,981
2	如何將 CAD 檔轉成 GIS 格式實作示範	1,903
3	測繪圖資新利器-淺談新式地質製圖方法	1,511
4	讓滿清由盛轉衰的天災－1815 年史上最大的火山爆發導致全球氣候變遷事件	1,309
5	土石流? 高含砂水流? 洪水?－如何快速評估集水區易致災類型	1,278

綜觀以上統計資料，可了解到科技與軟體應用，不管在電子報作者群或讀者中，均獲得較佳的受眾與喜愛，是目前受矚目的趨勢，亦符合目前本計畫針對氣候變遷下大規模土砂災害相關科技研究重點，也可得知未來依照此趨勢發展，對於防災應用上會有更快速、效率、準確等優勢，成為防災上的一大利器。

表 2-8 電子報閱讀人次統計 (2023/1/4 計)

類別	電子報名稱	閱讀人次
軟體防災對策	用數位孿生重現歷史－從時空夾縫趨吉避凶	1,981
新興科技應用	如何將 CAD 檔轉成 GIS 格式實作示範	1,903
新興科技應用	測繪圖資新利器-淺談新式地質製圖方法	1,511
軟體防災對策	讓滿清由盛轉衰的天災－1815 年史上最大的火山爆發導致全球氣候變遷事件	1,309
軟體防災對策	土石流? 高含砂水流? 洪水?－如何快速評估集水區易致災類型	1,278
新興科技應用	BigGIS 離線圖資在手，野外調查沒網路也不怕！	1,061
軟體防災對策	崩塌土砂量體估算實作示範-以災後 UAV 建模與災前 DEM 為例	1,016
新興科技應用	應用衛星影像最容易被誤解的事-空間解析度	952
新興科技應用	行星觀察者－守護地球半世紀的 Landsat 衛星	909

類別	電子報名稱	閱讀人次
基礎試驗研究	自然界的非牛頓流體－再談土石流、高含砂水及洪水	868
軟體防災對策	HEC-RAS 6.X 新增土石流模擬功能！	842
前瞻策略與管理	小水力、微水力是什麼？小水力發電的實際應用、技術創新與推動實例介紹	826
工程技術發展	人人都可創造數位孿生－手機 3D 掃描技術的現況與發展	773
基礎試驗研究	河川水系圖製作教學與全球水系圖下載 / HydroSHEDS & ArcGIS	741
工程技術發展	工程與自然共存的解方－無框架工法	683
基礎試驗研究	集水區降雨-逕流模式之合宜性探討	670
新興科技應用	當影像辨識從 2D 走向 3D－電腦如何看見世界？	640
工程技術發展	日本無人化施工技術的源起與發展現況	586
新興科技應用	上帝的視角-用衛星來追蹤 COVID-19 對全球的影響	582
基礎試驗研究	如何找出蘊藏地下水的山區供水潛能場址?	579
基礎試驗研究	我們是怎麼走到這一步的？氣候危機的根源(一)	556
基礎試驗研究	數位時代下的地球科學，美國 Teach the Earth 教育資源庫計畫	547
工程技術發展	因戰爭而生的天氣預報－在 GEE 上客製自己的天氣圖	529
前瞻策略與管理	國內外生物多樣性資料視覺化案例－大數據×衛星遙測	498
工程技術發展	河川再生的實現-近自然生態工法技術	497
軟體防災對策	遙測及資料視覺化如何協助森林野火防救災－以 111 年加州 McKinney 大火為例	476
新興科技應用	連結元宇宙及真實世界場景的創建工具－攝影測量的現況與未來	462
新興科技應用	三維建模技術大躍進，多樣感測資料融合創造更多應用可能	388
新興科技應用	打破穀倉效應－從仙台綱領到岑里島韌性倡議，強化資訊流通已是減災重要基石	383
新興科技應用	看見地球脈動，探索美國 USGS 監測案例應用	287
總和		24,333

第三節　前瞻調適策略與關鍵技術研究發展可行性評估

坡地土砂災害問題複雜且多元，如何針對不同類型災害提出有效調適策略是一大挑戰，本節參考由美國地質調查所 (U.S. Geological Survey) 所出版之崩塌地手冊 (The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides)[1]，並就其重要內容，摘錄如下：

一、　崩塌地災害的調適策略

崩塌災害的調適策略最簡單的就是避免在有崩塌潛勢區居住或開發，然而隨著開發需求，這並非可行的，另一種方式則是規範土地利用行為且盡量避免開發，進而影響坡地穩定，而當開發行為無法避開時，可採用工程 (物理) 控制手段，而當該區域崩塌可能發生率高時，可採用監測及預警系統，爭取居民避難時間。以下就三種類型崩塌災害調適策略進行說明：

(一) 土壤型坡面穩定調適策略

為了增加坡面的穩定性，可採用以下方法降低地下水水位：

1. 直接將坡面的地表水導引離開坡面
2. 將地下水從崩塌坡地排出，降低地下水位
3. 在坡地表面覆蓋防滲水膜或減少於坡地表面灌溉
4. 將在坡面頂部的重量移除，皆可增加坡地的穩定性
5. 種植或鼓勵自然植生復育都可有效增加坡地穩定
6. 在坡址處增設擋土牆

擋土牆是永久支撐土體而建造的結構。常用在需防止坡地土壤滑

[1] Highland L M, and Bobrowsky, P (2008) The Landslide Handbook: A guide to understanding landslides. U.S. Geological Survey Circular 1325, p 129 online: http://pubs.usgs.gov/circ/1325/.

落到道路以及可能造成民眾通行安全時使用。擋土牆亦常用於減少河流對坡址的沖刷使用，然而，擋土牆的建造不能阻止崩塌地發生，常見建造擋土牆材料有木材、鋼箱、樁、懸臂、板樁、塑料網、和鋼筋混凝土。每一種類型在某些情況下都有優勢，但是成本通常決定採用哪種類型的主要考量。

(二) 落石型災害調適策略

常發生在陡峭的岩石斜坡或者懸崖地區，災害發生常會造成人民生命財產損失，亦會造成道路破壞或者阻斷河流。在高危險區域，社區會張貼危險標誌。常見減災方法為集水溝 (catch ditches)、纜線 (cable) 格網 (mesh)、噴射混凝土 (shotcrete)、錨 (anchors)、螺栓 (bolts)、銷釘 (dowels) 等使坡面穩定。

(三) 土石流型災害調適策略

由於土石流發生時的速度以及強度，一旦開始運動後就很難停止，可通過擋土牆(註：此處係指防砂壩及導流堤)或者改變土石流流動的集水區域來阻止，例如修改斜坡、透過土壤侵蝕控制來阻止土石流生成、或者坡地植生以及預防野火的發生，野火會使得在陡坡的土石流更嚴重[2]。

[2] 原文出處 P.53：Due to the speed and intensity of most debris flows, they are very hard to stop once they have started. However, methods are available to contain and deflect debris flows primarily through the use of retaining walls and debris-flow basins. Other mitigation methods include modifying slopes (preventing them from being vulnerable to debris-flow initiation through the use of erosion control), revegetation, and the prevention of wildfires, which are known to intensify debris flows on steep slopes.

二、 坡地災害防災策略

(一) 當暴雨發生前,住在鄰近陡坡的居民能做些什麼呢？可有以下措施：

1. 熟悉你周遭的土地環境，藉由當地政府、災難管理機構、國家地質調查局、自然資源部門或大學的通知，以掌握鄰近你的地區是否發生土石流。

2. 支持政府在土地管理的措施，例如在敏感崩塌/土石流區域對建物的規範，建築物應遠離陡坡、溪流或河流、間歇性溪流或者是通往山區入口處。

3. 觀察住家附近斜坡上的排水情形，特別注意在集中逕流的地方，盡量讓逕流可以停留在坡面土體，增加入滲，注意家附近最近土體有無滑坡的跡象，例如小規模崩塌或者土石流、或者樹木有傾斜移動情形。

4. 聯絡當地主管機關，並了解相關緊急應變措施或者疏散計畫，並擬定家庭緊急避難應變計畫。

(二) 暴雨發生期間

1. 保持警戒和清醒，許多土石流造成人員死亡都是發生在人們熟睡時，特別是在長時間的降雨後的降雨及潮濕天氣，收聽收音機來接收強降雨的預報，尤其發生短延時強降雨時最危險。

2. 如果你處在崩塌或土石流潛勢區，考慮直接撤離直到安全為止，切記在強降雨發生時旅遊是極危險的事情。

3. 注意聆聽任何可能是土石流引起的不尋常聲音，例如樹木裂開或者巨石撞擊所發出的聲音，掉落的土石、碎石可能產生更大的流量。

如果妳就在溪流附近，要提高警覺溪流突然的增加或減少，或者清澈的水流開始變混濁，這些徵兆說明土石流正在上游區域運動，所以趕緊準備撤離，保護自己而不是保護你的財產。

4. 路邊的護岸特別容易發生山體滑坡，開車時要特別注意，隨時注意可能發生坍塌的道路鋪面、以及提高警覺附近泥漿、落石和其他可能發生泥石流等跡象。

(三) 當懷疑有可能發生崩塌或土石流時，該怎麼做？

1. 如果可能，請撤離。

2. 聯繫當地警察、消防以及公部門人員。

3. 通知受影響的鄰居。

(四) 崩塌發生後，該注意的事情[3]

1. 最好遠離崩塌區域，因為可能還會在那附近持續發生崩塌，然而這並非可能發生，但仍要提防。

[3] 原文出處對照：

- It is best to stay away from the slide area, as there may be danger of additional slides; however, this is not always possible or desirable.
- Check for injured and trapped persons near the slide area. Give first aid if trained, and call for help.
- Remember to help your neighbors who may require special assistance—infants, elderly people, and people with disabilities.
- Listen to a battery-operated radio or television for the latest emergency information.
- Remember that flooding may occur after a mudflow or a landslide.
- Check for damaged utility lines. Report any damage to the utility company.
- Check the building foundation, chimney, and surrounding land for damage.
- Replant damaged ground as soon as possible because erosion caused by loss of ground cover can lead to flash flooding.
- Seek the advice of geotechnical expert for evaluating landslide hazards or designing corrective techniques to reduce landslide risk.)

2. 檢查附近受傷或受困的民眾，如果有受過專業訓練，可協助那些需要幫助的人。

3. 幫助可能需要特別幫助的鄰居——嬰兒、老人和行動不便人士。

4. 收聽廣播或電視，以接收最新緊急疏散訊息。

5. 記得泥石流或崩塌發生後，可能伴隨著洪水發生。

6. 檢查受損害的公共管線，並向管線機關回報管線受損情形。

7. 檢查建築物的地基、煙囪、及周圍土地受損情形。

8. 盡可能透過植生來復育裸露地，因為裸露地所造成的土壤沖蝕，會容易導致降雨集中逕流而引致山洪暴發。

9. 詢問地質專家，協助評估崩塌災害情形並進行相關修正設計來減少崩塌風險。

三、 堰塞湖防災調適策略

堰塞湖 (圖 2-23) 的災害主要來自於其後方蓄積水體因潰壩或者降雨導致洪水溢頂 (Overtopping) 而導致的洪水災害，以下介紹當社區面臨堰塞湖潰壩風險時可採取的策略：

(一) 在洪水到達堰塞壩湖水前先分流

通過將溪流水轉移到上游水庫或者灌溉系統，雖然只是短期措施，但透過分流可減緩堰塞壩體後方湖水蓄存體積，進而提出其他可長期解決方案。

(二) 利用泵或虹吸管將堰塞壩後方水體抽出

透過泵跟虹吸可控制堰塞壩體後方水位，可使水流僅存在於堰塞壩體後方最低點，通常這是短期措施 (1 至 2 年)，為其他長期解決方案爭取足夠的時間。

(三) 建造一個抗侵蝕的溢洪道 (spillway)

這是常見的一種措施，就是在壩體鄰近處建造一橫跨壩體的明渠式溢流堰，這作用跟水庫常見的緊急溢洪道概念相同，當洪水溢頂時，可透過此溢洪道將洪水排水以降低水位。

這種溢洪道設計並非一定成功，因為溢洪道內部可能因入口到出口的快速水流所引起的侵蝕，進而導致毀損，可通過最小流速來減少侵蝕，因此溢洪道需設計寬而淺，且如果允許，溢洪道應襯有像是拋石等抗侵蝕材料，特別是在出口處，通常在溢洪道較陡處也會設置外凸式階梯來消能以防止沖刷，然而即便是受侵蝕而毀損的溢洪道也有可能成功防止堰塞湖潰壩所帶來的災害，即便是潰壩了，亦可以限制

水流進到堰塞壩後方蓄水空間，減少潰壩的洪水總量[4]。

[4] Spillways are not always successful in preventing dam breaching and downstream flooding; they sometimes fail due to retrogressive erosion (erosion from the spillway outlet to its intake) caused by high-velocity outlet flow. To prevent erosion by minimizing flow velocity, the spillway should be wide and shallow. If possible, it should be lined with erosion-resistant materials (commonly riprap), especially at the outlet. Often, check dams are installed along steeper grades of the spillway to prevent erosion. Spillways that fail due to erosion may have been partially successful because they limit the total volume of the water behind the dam, thus reducing total discharge even if the dam breaches entirely.

(四) 建造一個排水隧道

為了有效降低堰塞壩後方蓄水水體，並且避免其溢頂導致潰壩，較常使用的方法是在堰塞壩的壩肩建造一個排水隧道 (圖 2-24)，然而，堰塞壩通常發生在高山峽谷中，附近通常有基岩，因此較常使用岩石隧道法來建造排水廊道。



資料出處：The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides, USGS, 2008

圖 2-23 美國猶他州 Thistle 崩塌地 (1983)，崩塌地阻礙了一條河流形成一個湖泊，並且淹沒了整個 Thistle 鎮



圖 2-24 Thistle 堰塞壩後方於低水位設置分流排水隧道以及溢洪道旁設置排水隧道，以降低壩體後方蓄水水位

四、　崩塌地評估工具-地圖、遙感探測以及監測

(一) 崩塌地地圖建置

地圖是展示崩塌的資訊的方便工具，當崩塌地地圖與土地利用結合使用時，將會是一種有價值的規劃工具。常見崩塌地調查地圖說明如下：

1. 區域等級

調查範圍廣，解決的問題是較為常見的坡地問題，一般稱作小比例尺繪圖，繪圖通常是由省、州或聯邦地質調查局進行。所繪製的地圖通常是簡單清單資料或者敏感性崩塌區域的地圖，主要目的在於崩塌地判釋以及描繪，測繪的工作主要依賴攝影地質學、偵查、及野外測繪，比例尺通常在 1:10,000 到 1:4,000,000 甚至更小的範圍內。

2. 社區等級

專為較為複雜的區域問題，進行地表和地下製圖。主要辨識崩塌三維潛勢區及其成因。提出有關土地利用、區域及建設的參考指南，並提出未來特定地點調查的建議，調查包括地下探勘工作，以便製作橫截面圖，比例尺通常介於 1:1,000 到 1:10,000。

3. 特定地點大尺度

準備詳細的特定地點的大比例尺地圖。主要針對特定地點進行崩塌地圖製作與辨識、分析與提出解決方案。通常範圍以住宅區域為主。通常需要有詳細的鑽井計畫和取樣及實驗室分析，進而得到數據，進行設計與施工，比例尺通常大約在 1:600。

4. 三種重要的崩塌地地圖

(1) 崩塌地調查

調查可指出那些區域被判釋為崩塌地，如圖 2-25 所示。

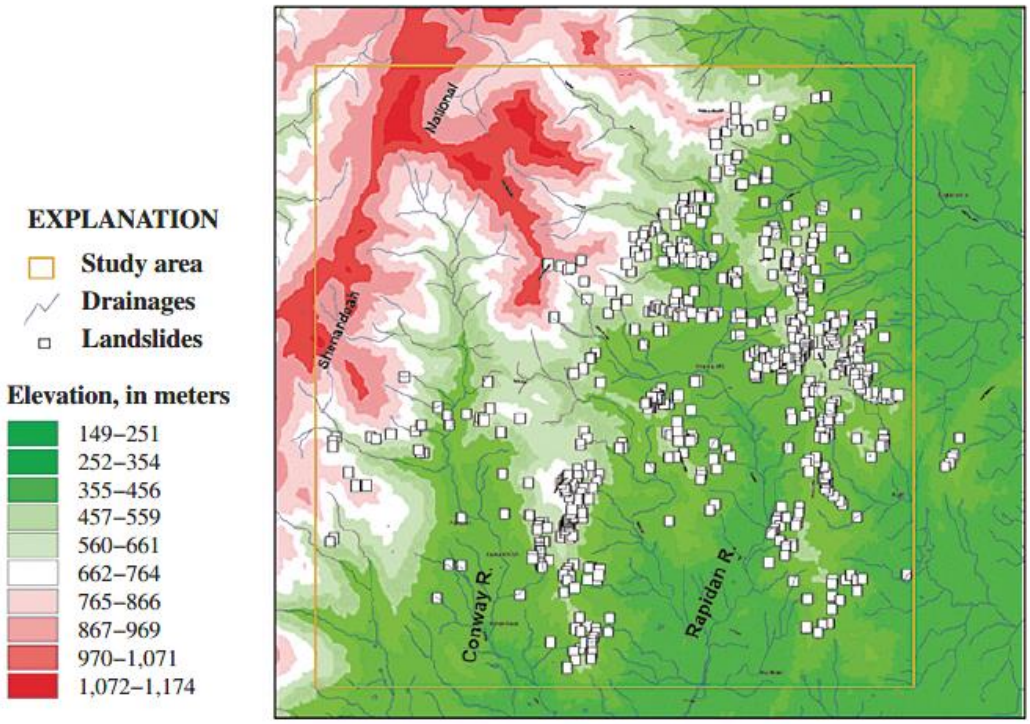


圖 2-25 崩塌地調查地圖，包含過去崩塌發生的位置以及相關地形高程及水系等訊息

(2) 崩塌潛勢區

主要提供可能發生崩塌的區域，如圖 2-26。例如透過地質圖跟現有土地圖層套疊可以識別可能發生崩塌的區域，或者結合其他因素，像是傾斜角度和水系。

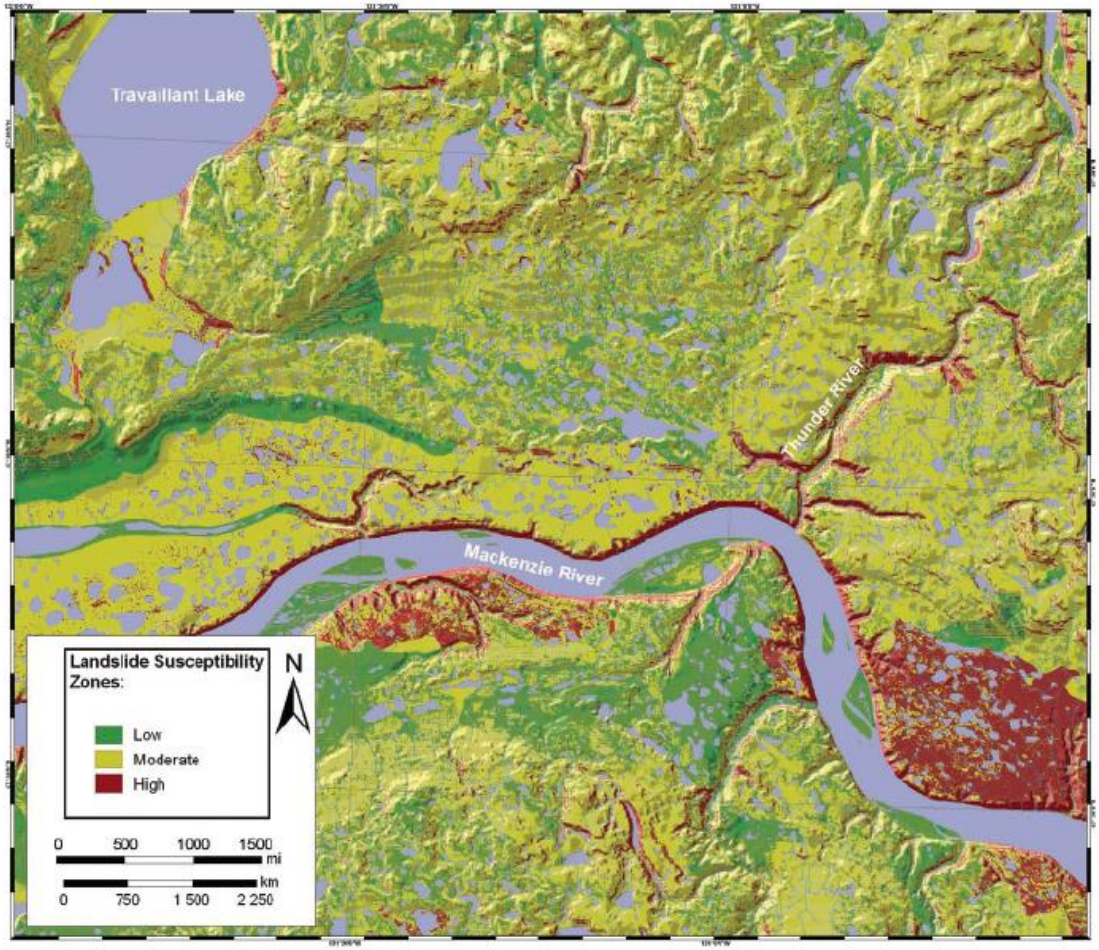


圖 2-26　崩塌潛勢區域地圖，地圖展示在加拿大西北地區的麥肯齊河谷，圖片由加拿大地質調查局的 Réjean Couture 所繪製

(3) 崩塌災害地圖

主要展示受崩塌威脅的風險程度，例如未來可能發生的機率，可概分成低、中及高風險災害區域，如圖 2-27。

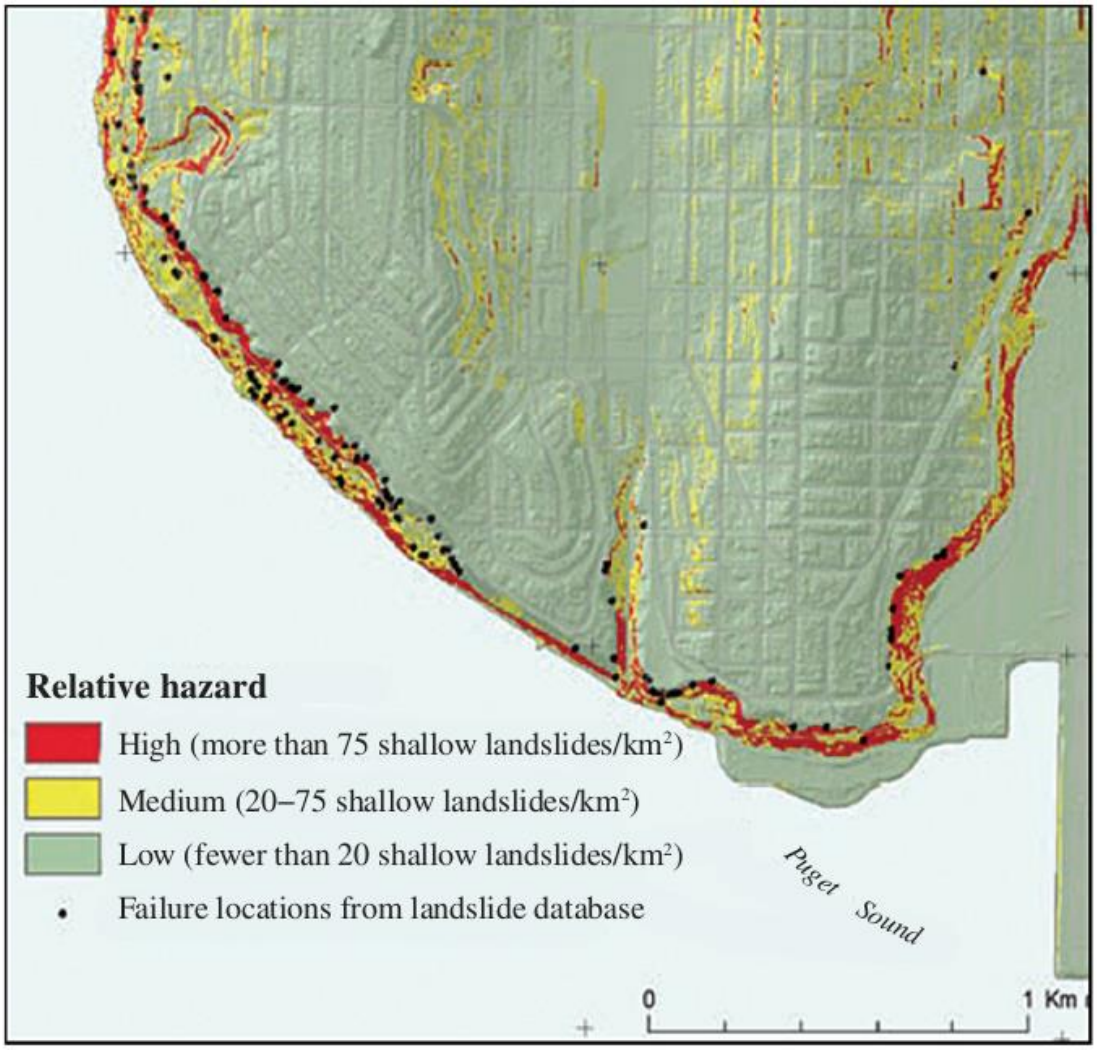


圖 2-27 美國華盛頓州西雅圖市 Magnolia 地區一部分的淺層崩塌災害地圖

(二) 遙感探測及其他展示崩塌活動特徵之工具

透過不同圖層資料的蒐集進行疊加，例如地形、土地、岩石、土壤、森林、航拍遙測、干涉合成孔徑雷達 InSAR 或者是光載雷達 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 等遙感探測資料，並透過地理資訊系統進行分析，以查看各種不同的訊息，如圖 2-28~圖 2-30。



（照片由 AirPhoto USA 和加利福尼亞州文圖拉縣以及美國地質調查局的 Randy Jibson 提供。）

圖 2-28　2005 年拍攝的美國加利福尼亞州 La Conchita 山體滑坡的航空照片。藍線描繪了較早的滑坡，黃色線描繪了較新的滑坡滑坡。

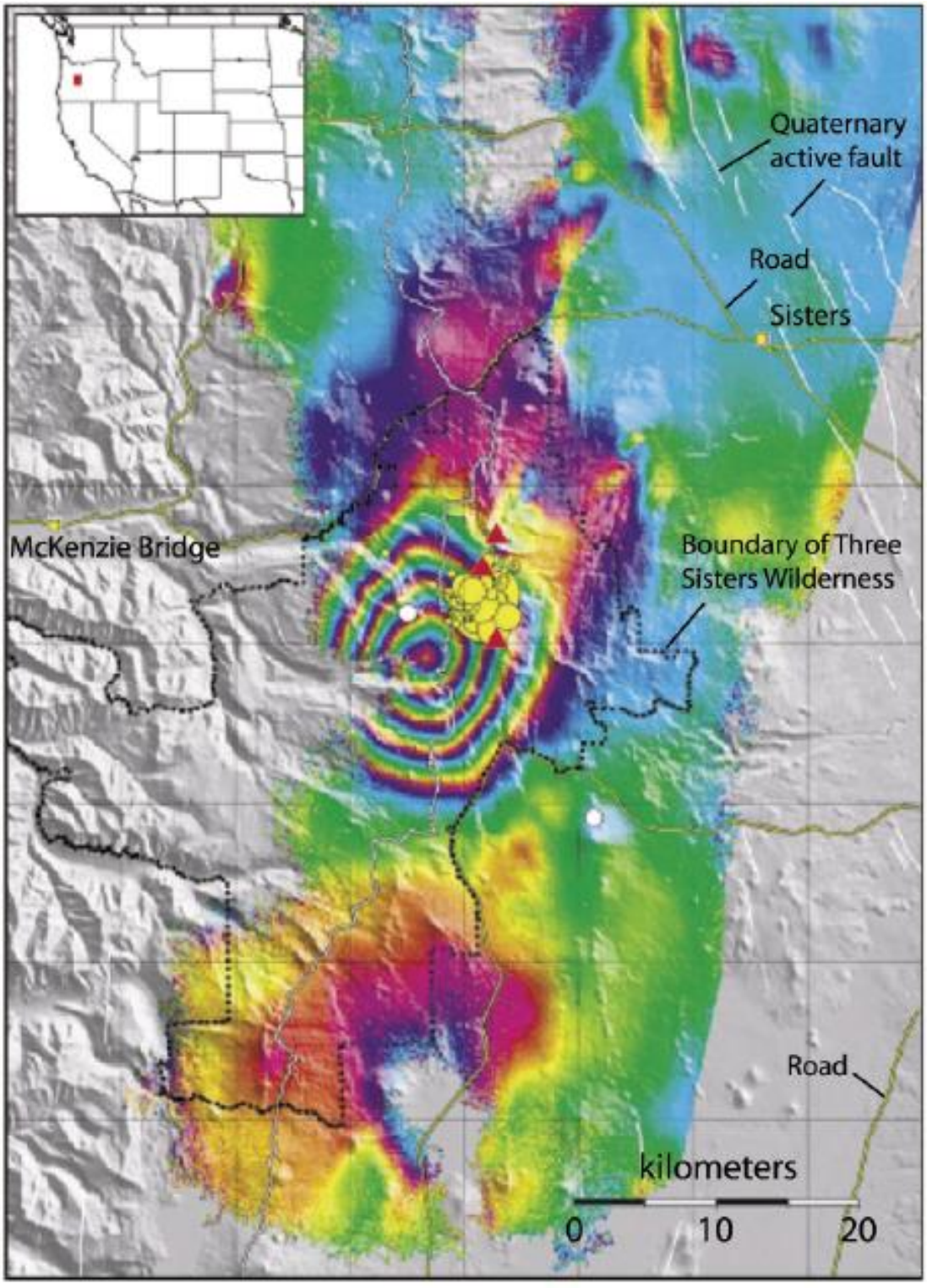


圖 2-29　InSAR 成像過程的干涉圖顯示在美國俄勒岡州中部（圓圈表示地震位置）喀斯喀特山脈的三姐妹火山（紅色三角形）隆起區域(1997–2001)

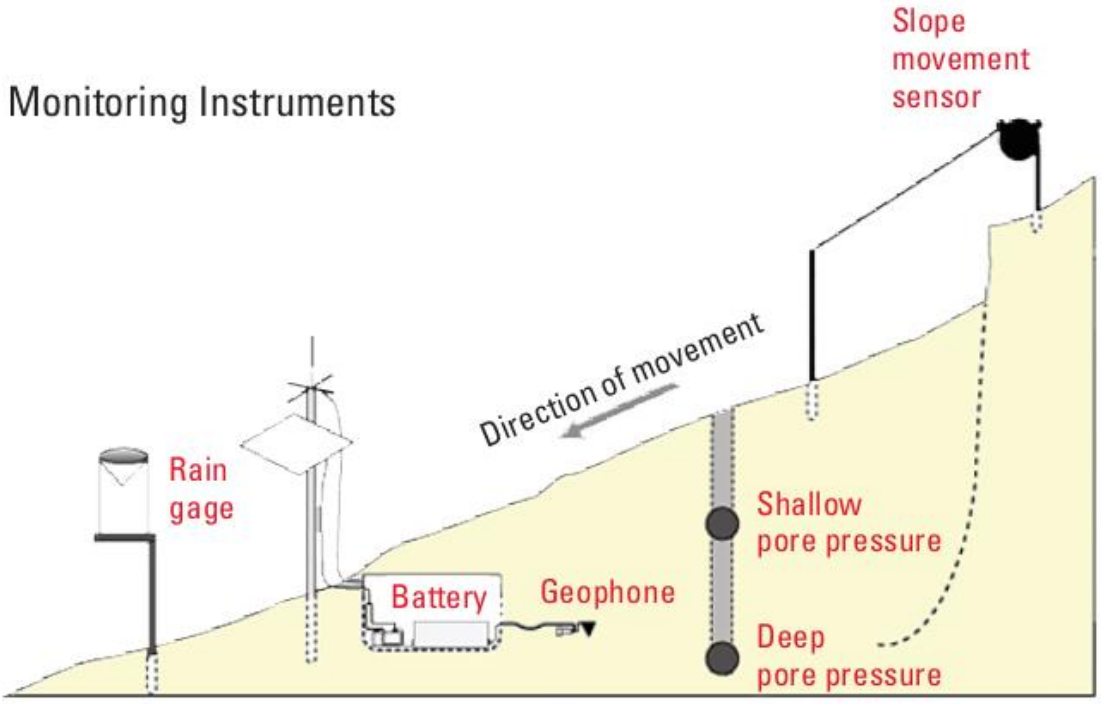


照片出處：美國加利福尼亞州埃爾塞貢多的 Airborne 1 和美國地質調查局的 Randy Jibson 拍攝

圖 2-30　2005 利用傾斜 LiDAR 拍攝之圖象，顯示了 1995 年(藍色)與 2005 年(黃色)崩塌地的輪廓，紅色勾勒出古老時候主要懸崖處

(三) 即時監測設備

提供即時的崩塌活動監測對保護人類生命財產安全至關重要，傳統現地觀察，即使定期的進行，也無法發現當前發生的變化，此外，活動的崩塌地可能對工作造成危險，並且多在能見度低的暴風雨期間經常發生移動。遠程即時監測提供的連續數據可以更好地了解崩塌滑動行為，從而使工程師能夠提出更有效的設計來預防或阻止滑坡。 滑坡監測可能很昂貴，而且大多數監測系統都需要專家安裝。優點是系統檢測滑坡運動可以與預警系統整合，如圖 2-31。



資料來源：美國地質調查局

圖 2-31 即時崩塌數據測量和資料網路傳輸示意圖

第三章 水土保持試驗研究-不安定土砂評估法

第一節　集水區內不安定土砂坡面評估

一、 前言

水土保持局為保護人民生命財產之不受到土砂災害的威脅，依保全住戶所在區域劃設土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區，並對各潛勢區建立各自的預警發布機制。在 98 年莫拉克風災後，山區仍有大量不安定土砂殘留於邊坡及河道上，如遇巨量降雨導致一次性大量土砂流出，可能將危及到保全住戶以外的道路橋梁等公共設施，如圖 3-1。

但不安定土砂廣布於坡地集水區，其調查分析非常耗時費力。若依五大流域整體範圍依序進行調查，恐需耗時甚久，考量成本與時效，為加速完成不安定土砂災害管理之目標，我們透過建立不安定土砂潛勢快速評估方法，找出較適合優先進行不安定土砂調查之集水區。再進一步聚焦找出「可能受集水區不安定土砂影響之高風險橋梁」，作為不安定土砂潛勢優先分析區之目標。



圖 3-1　不安定土砂潛勢區示意圖

二、 材料與方法

(一) 地文脆弱度

降雨誘發的坡地災害與該地區之地質、地形、植生及人為開發利用等條件有關，較不易直接由前揭各項因子單獨進行評估。而多數警戒模式僅針對降雨指標進行量化，如國內現行的土石流警戒雨量模式，藉由發布不同警戒雨量門檻值，試圖表現出各地區地文地質等條件的差異。

陳振宇等人 (2019) 為明確的量化評估方式可表達各地區之地文脆弱度 (Physiographic fragility index, F_P)，採用劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS) 雷達 21,000 個 QPESUMS 網格作為全台面積資料的採樣架構 (解析度：1.3 km × 1.3 km)。透過統計 94~105 林務局年度衛星判釋全島崩塌圖層，作為各 QPESUMS 網格歷年是否發生新生崩塌之評估基準，並定義為新生崩塌頻率 (Nn)。另以相鄰兩年之圖層套疊相減方式，計算 94~105 年間，每一個 QPESUMS 網格範圍內之各年度新生崩塌面積 (Aa)。然而，由於林務局年度衛星判釋全島崩塌圖層之最小判識面積為 0.1 公頃，若各年度新生崩塌地面積相減後小於 0.1 公頃者，視為無新生崩塌。接著，透過將各網格範圍內 Nn 與 Aa 整併為單一指標，以此定義每個 QPESUMS 網格之 FP (式 1)。最後，將每個 QPESUMS 網格之 F_P 分為五個風險分區，分別為低脆弱度、中脆弱度、中高脆弱度、高脆弱度及極高脆弱度。

$$F_P = \begin{cases} N_n \times \log A_a & if\ N_n > 0 \\ 0 & if\ N_n = 0 \end{cases} \quad \text{(式 1)}$$

因此，本評估方法為了後續應用，分別將其脆弱度分級分別數值

化為 1、2、3、4 及 5，若數值越大則表示該網格脆弱度越高，崩塌機率或面積較大 (表 3-1)。

表 3-1 地文脆弱度指標 FP 分布特徵與分級

F_P值	特徵	脆弱度	脆弱度數值
0	10年內無新生崩塌	低	1
$0<F_P\leqq10$	崩塌1~2次 (面積0.1~4.0公頃)	中	2
$10<F_P\leqq15$	崩塌3~4次 (面積0.3~7.9公頃)	中高	3
$15<F_P\leqq20$	崩塌4~5次 (面積0.6~3.5公頃)		
$20<F_P\leqq25$	崩塌5~6次 (面積1.2~4.7公頃)	高	4
$25<F_P\leqq30$	崩塌6次 (面積1.7~6.3公頃)		
$30<F_P\leqq35$	崩塌7~8次 (面積0.6~5.5公頃)	極高	5
$F_P>35$	崩塌8~10次 (面積1.0~4.7公頃)		

本評估方法為進行後續空間的套疊，同時考量方法的取樣位置的標準化，同時避免集水區之不規則形狀框選的誤差。將每個 QPESUMS 網格的中心點坐標化，賦予每個 QPESUMS 網格中心點各自的 X 及 Y 坐標，即可透過坐標方式來代表該網格及脆弱度的代表位置 (圖 3-2)。亦表示若在空間套疊時，該中心點坐標有被集水區所匡列，則表示該坐標點屬於該集水區，受到該坐標點所含之地文資訊及水文資訊影響。

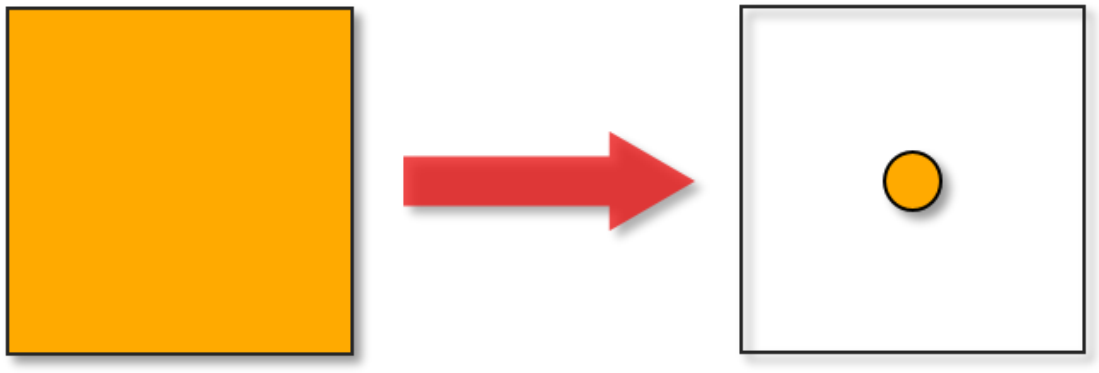


圖 3-2　QPE 網格坐標化示意圖

(二) 水文資料

1. 數值高程模型

數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 泛指數值表面模型 (Digital Surface Model, DSM) 與數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 的合稱，如圖 3-3 所示。本評估方法為求快速評估之目的，同時排除人工構造物及植被高程對致災熱區分析時的影響，利用內政部 2015 年版 20 公尺 DTM 進行地形資料分析，使用此版本可同時避免內政部 2020 年版 DTM 因去除軍事敏感區而可能造成的資料缺漏情形發生。

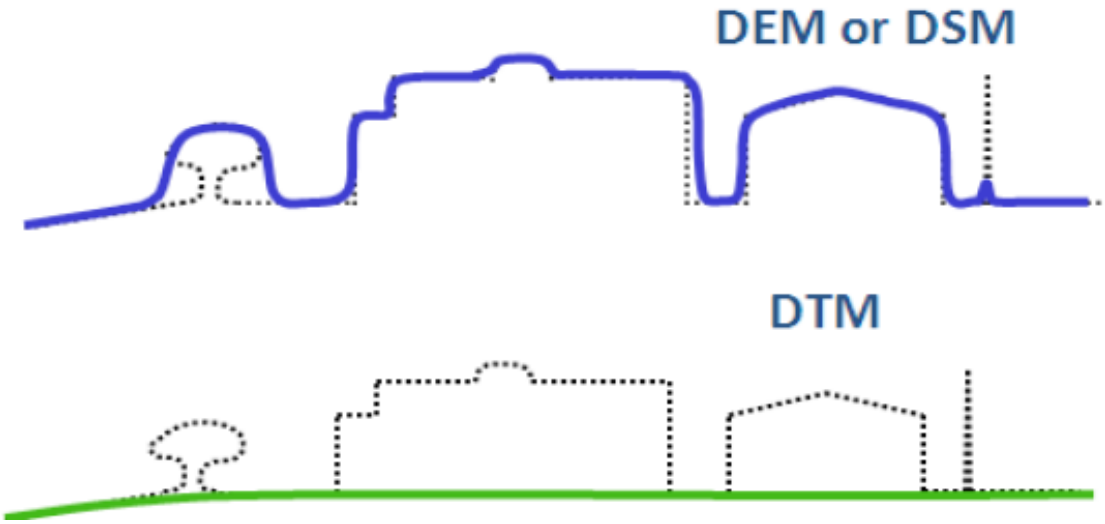


圖 3-3 DEM 與 DTM 差異示意圖 (Pleiades user guide, 2021)

2. 河川水系圖

利用 ArcGIS Pro 軟體中空間分析工具內的水文模組 (Hydrology)，對內政部 2015 年版的 20 公尺 DTM 產製本方法所需之河川水系圖。本評估方法為了避免匡列過小且不太有常流水的野溪，將僅取集水面積大於 400 ha 之水系，即排除累計網格數小於 10,000 ha 內的水系 (Flow Accumulation>10,000)。並將此河川水系圖匯出為向量圖資，共後續分析使用。

(三) 橋梁資料

本評估方法將蒐集並分析公路總局台灣橋梁管理系統 (Taiwan Bridge Management System, TBMS) 及台鐵局所提供共 3,272 座的公路省道及鐵道橋梁。然而，為求評估方法達到快速評估效益，進而透過下列篩選步驟挑選優先分析之橋梁。

首先，對 TBMS 系統及台鐵局提供之所有橋梁進行篩選時，因本評估方法使用內政部 2015 年版的 20 公尺 DTM 進行分析，故僅篩選跨距大於 10 m 的橋梁 (共 2,320 座)，藉使具備橋梁分析之參考性；再依山坡地範圍圖 (水保法、含六都) 篩選於山坡地範圍內的橋梁 (共 930 座)。

其次，依橋梁篩選原則於地圖上人工篩選橋梁 (詳見 1.橋梁篩選原則) (共 227 座橋梁) ，以加快後續評估速度，經人工篩選後，再接續人工比對 Google 街景方式重複檢視前述方法所篩選出之橋梁，排除位於支流或無明顯水路的橋梁 (詳見 2.人工比對篩選方式)。因此，總計本評估方法共匡列 221 座公路省道及鐵道橋梁 (圖 3-4)。

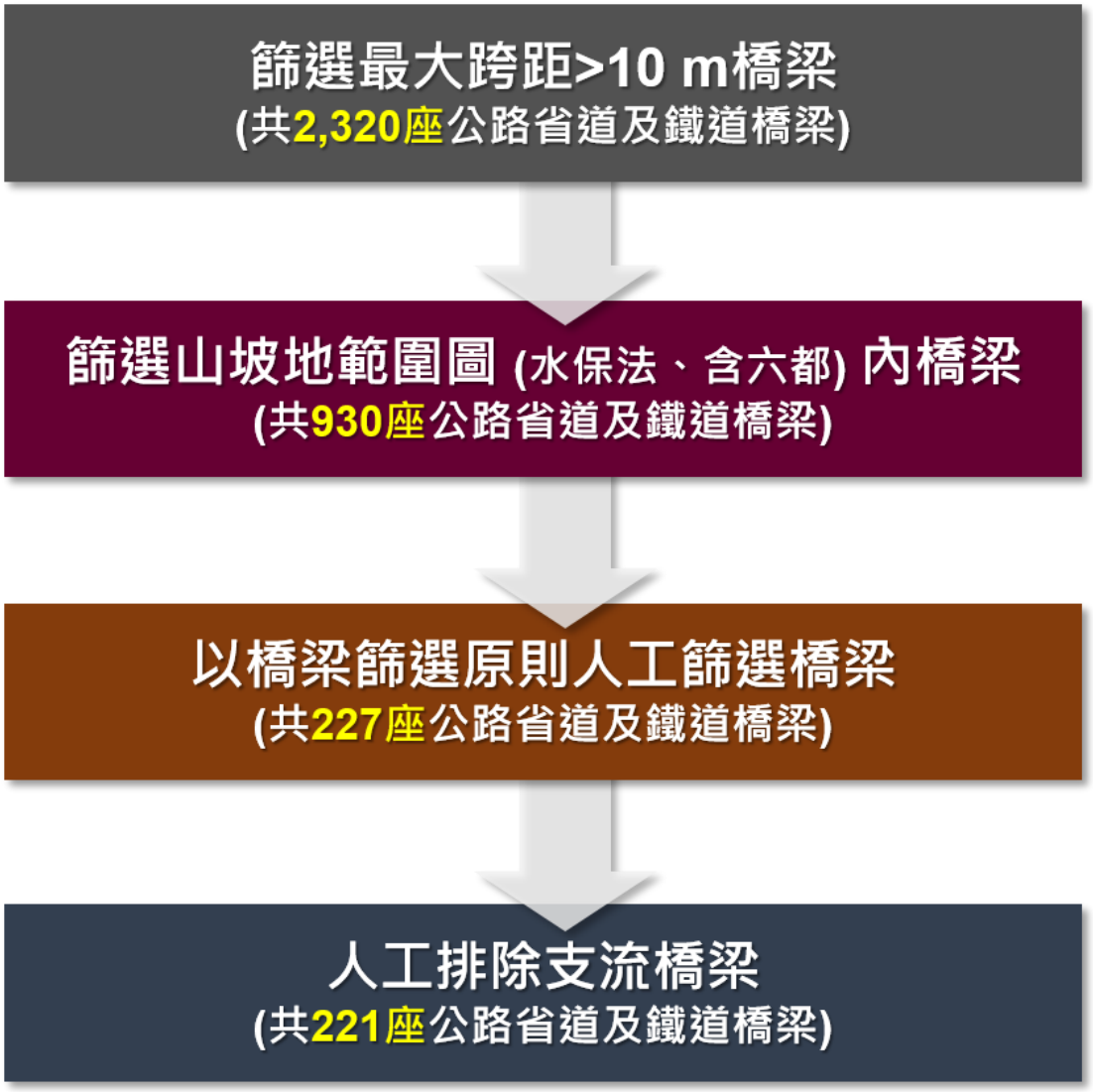


圖 3-4　橋梁資料篩選流程圖

1. 橋梁篩選原則

本評估方法考量土砂規模與集水區尺度，初步先以同一河系下最下游橋梁為評估標的，並據以此原則共篩選出 227 座橋梁。橋梁篩選原則如下 (圖 3-5)：

(1) 以水系內一級河序為基準

(2) 同一河道上僅檢視最下游之橋梁

(3) 若上游無其他橋梁，一級以上河序仍納入選擇

(4) 同一集水區只篩選出 1 座代表橋梁

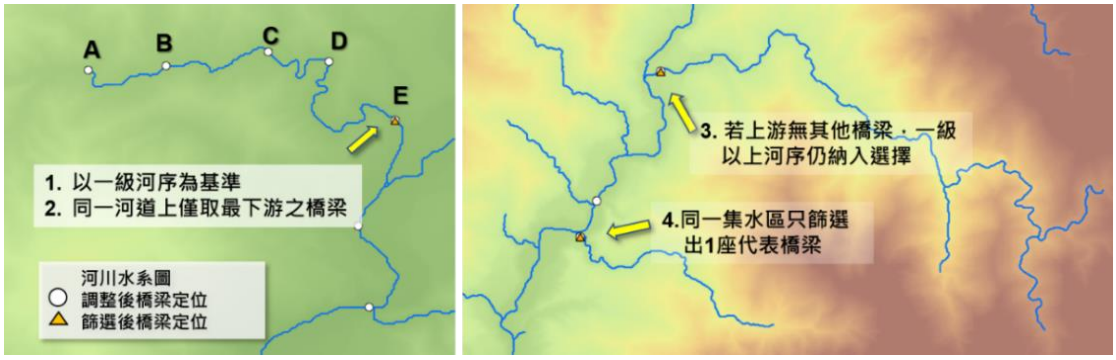


圖 3-5　橋梁篩選原則示意圖

2. 人工比對篩選方式

本評估方法先透過 ArcGIS 軟體中的編輯工具，將所有橋梁位置修正於河道上。透過分析工具內的交集功能，檢視所有橋梁皆有正確交集於河道，於人工比對開始前，先確認前述篩選方法共交集 227 座橋梁。然而，其中仍會有誤判位於主河道，實則位於支流且不具風險之橋梁 (圖 3-6)。因此，於此階段將 227 座橋梁一一檢視該處 Google 街景，排除位於支流或無明顯水路的橋梁，確保欲評估之橋梁皆為跨越該集水區主河道之橋梁 (圖 3-7)。最後，本評估方法共計匡列欲評估橋梁數為 221 座。



圖 3-6　非位於主河道但仍被匡列之橋梁範例 (天池橋)



圖 3-7　人工排除支流或無明顯水路之橋梁示意圖

(四) 空間資訊環域分析

本評估方法完成前述所蒐集之地理、水文及橋梁資料後，即可透過相互套疊，進而擷取各點位所在位置的地理資訊，以供後續的分析及計算等研究應用。本評估方法於空間資訊環域分析，主要可分為兩個部分，一為橋梁空間資訊的擷取及集水區的圈繪；二為將第一部分圈繪之集水區套疊 QPESUMS 網格點後，擷取各點位的空間資訊。

1. 橋梁空間資訊

首先，著手於 221 座橋梁的相關空間資訊擷取，本評估方法為了解坡面或河道上之不安定土砂對橋梁可能造成的危害，將集水區內各位置相對於橋梁的高程差 (△H)，視為不安定土砂運移的動能。利用橋梁與 DTM 進行空間套疊，獲取該橋梁點位的高程值。再利用 ArcGIS 內建的分水嶺模組，畫出該橋梁點位在此 DTM 下的水系分水嶺，以此區域定義為會影響該橋梁的橋梁集水區 (ArcGIS/ Spatial Analyst tools/Hydrology/Watershed)。

同時，本評估方法以集水區內各位置至橋梁的水平流路距離作為不安定土砂對橋梁的風險程度。集水區內各位置至橋梁的流路距離越長，通常代表該位置上的不安定土砂對橋梁的影響程度越小。因此，透過 ArcGIS 內的流路距離工具分析若水滴落於集水區範圍內後，先由坡面上流入河道，再由河道流至橋梁之水平移動距離，定義為該位置至該橋梁之水平流路距離 (ArcGIS/ Spatial Analyst tools/Hydrology/Flow Distance)(圖 3-8)。

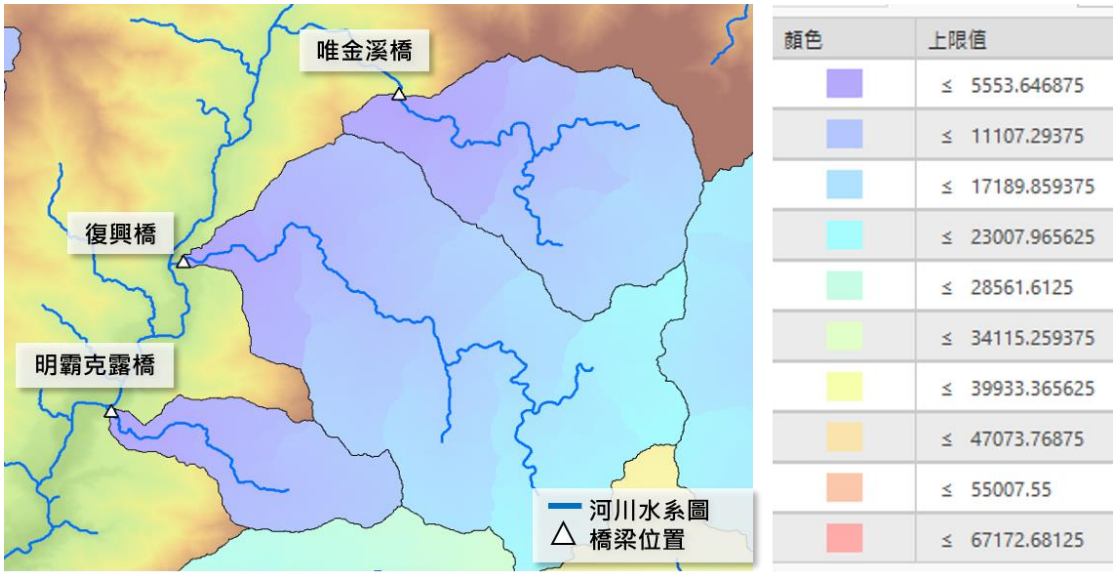


圖 3-8　流路距離及集水區範圍劃設示意圖及圖例 (單位：m)

2. QPE 網格空間資訊

圈繪完 221 座橋梁對應之集水區範圍後，套疊本章第一節之地文脆弱度 QPESUMS 網格點於集水區範圍中，並排除未在 221 個橋梁集水區內的 QPESUMS 網格點 (圖 3-9)，本評估方法之橋梁集水區共包含 4,651 個 QPESUMS 網格點。

接著，對每個 QPESUMS 網格點進行空間套疊分析，除了 QPESUMS 網格點本身的地文脆弱度值外，可額外獲得每個 QPESUMS 網格點之 DTM 高程值、該坐標位置的水平流路距離及對應之集水區橋梁名稱。再透過 QPESUMS 網格點的高程與橋梁之高程相減，即可得到各 QPESUMS 網格點與其對應集水區橋梁的高程差 (△H)，以進行後續分析。

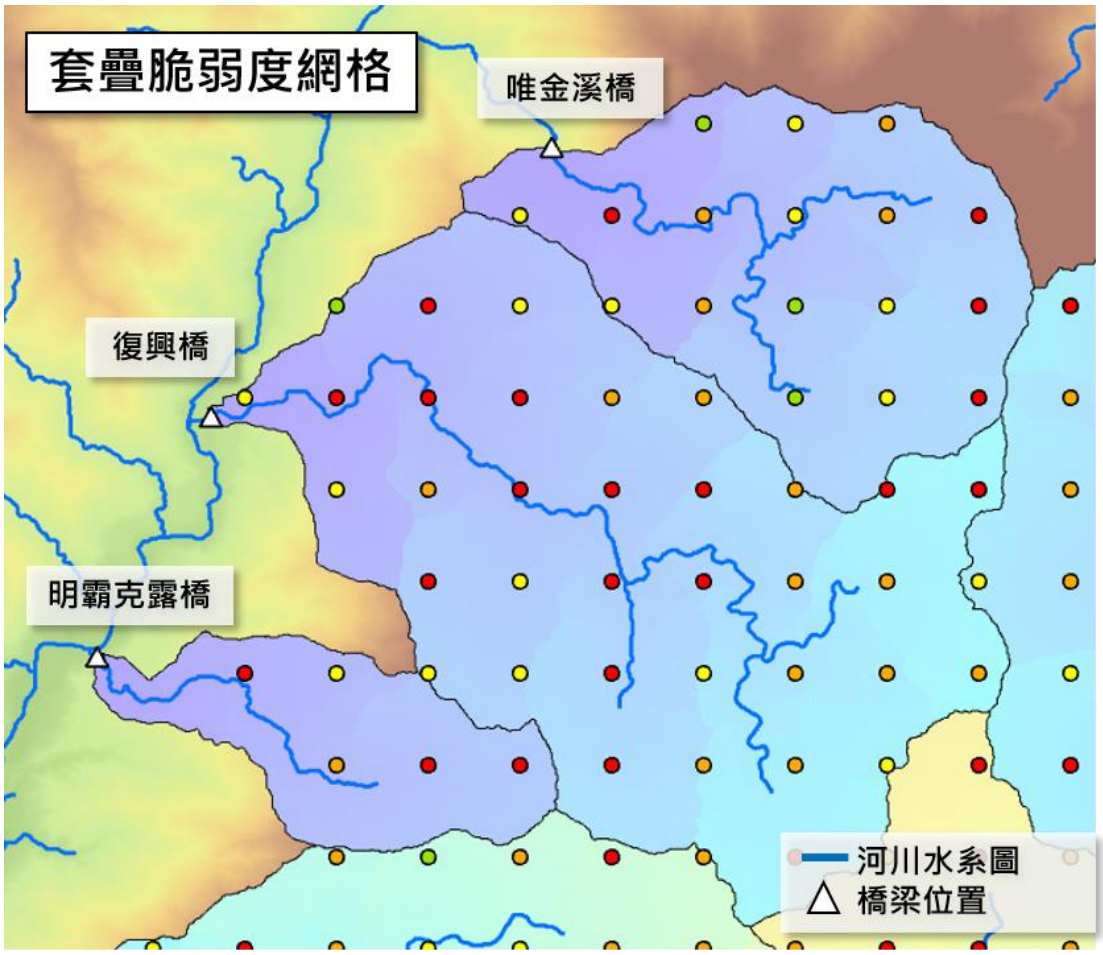


圖 3-9　套疊 QPE 網格點示意圖

(五) 不安定土砂潛勢值分析

本評估方法將結合前文所提之地文及水文因子，計算各橋梁集水區的不安定土砂潛勢值 (P)，以作為橋梁集水區風險的判釋依據。因此，先透過各 QPESUMS 網格點的因子交互計算得到各 QPESUMS 網格點不安定土砂潛勢值後，再加總各橋梁集水區的不安定土砂潛勢值，作為該橋梁集水區之 P 值，共計獲得 221 個橋梁集水區內的不安定土砂對該橋梁的 P 值。

首先，本評估方法將不安定土砂對於橋梁的危害風險因子分為兩者，分別為土砂生產潛能及危害程度 (Hd)。前者即為本節 (一) 所述之該 QPESUMS 網格點的地文脆弱度 (Fp)；後者為考慮不安定土砂

開始移動後，可能對橋梁造成危害的動能條件。本評估方法以該 QPESUMS 網格點與橋梁間的高程差 (△H)，除以該 QPESUMS 網格點至橋梁位置的水平流路距離，定義為該 QPESUMS 網格點對橋梁的危害程度。然而，每個橋梁集水區中的各 QPESUMS 網格點之不安定土砂潛勢值計算如式 (1)：

不安定土砂潛勢值=土砂生產潛能×危害程度 式(1)

其中，

土砂生產潛能：地文脆弱度(F_P)

危害程度 (Hd)：高程差/流路距離 (△H/L)

接著，完成各 QPESUMS 網格點的不安定土砂潛勢值計算後，本評估方法考量若橋梁集水區的面積越大，則不安定土砂所可能造成之危害應屬累加上升趨勢。以明霸克露橋為例，其橋梁集水區共匡列 5 個 QPESUMS 網格點，相較於唯金溪橋匡列 17 個 QPESUMS 網格點，其土砂生產量應少於唯金溪橋之土砂生產量為合理 (圖 3-10)。因此，為了更能符合判斷及實際之評估，本評估方法將同一橋梁集水區之所含 QPESUMS 網格點的不安定土砂潛勢值加總，定義為該橋梁上游集水區 P 值 (式 2)。

$$P=\sum_{1}^{n} F_p \times H_d \qquad \text{式(2)}$$

n：集水區內 QPESUMS 網格數

網格點編號	橋梁名稱	脆弱度	流路距離L (m)	各網格點高程 (m)	橋梁位置地形高程 (m)	各網格點與橋梁高程差△H (m)	各網格點不安定土砂潛勢值
1548	明霸克露橋	5	8,540	2,310	599	1,711	1.002
1549	明霸克露橋	5	7,289	1,865	599	1,266	0.868
1550	明霸克露橋	4	5,530	1,496	599	897	0.649
1567	明霸克露橋	3	4,686	1,725	599	1,126	0.721
1568	明霸克露橋	5	3,151	975	599	376	0.597
1610	唯金溪橋	5	13,040	3,344	984	2,360	0.905
1611	唯金溪橋	3	11,073	2,697	984	1,713	0.464
1612	唯金溪橋	2	9,609	2,346	984	1,362	0.283
1627	唯金溪橋	5	11,486	2,868	984	1,884	0.820
...	...	...	...	...	...	...	...
1654	唯金溪橋	2	3,190	2,195	984	1,211	0.759
1528	復興橋	5	19,006	2,613	658	1,955	0.514
1544	復興橋	3	18,060	3,103	658	2,445	0.406
1545	復興橋	4	17,291	2,404	658	1,746	0.404
1546	復興橋	4	13,675	2,479	658	1,821	0.533
...	...	...	...	...	...	...	...
1634	復興橋	2	4,506	1,197	658	539	0.239

P=SUM(同一集水區)

共17個網格點

共35個網格點

圖 3-10 各橋梁集水區不安定土砂潛勢值計算示意圖

(六) 不安定土砂潛勢值分及橋梁長度二維矩陣分析

橋梁會受到的危害風險分為兩個部分，一為橋梁上游集水區可能產生的不安定土砂，二為橋梁自身的抗洪與抗衝擊能力。因此，本評估方法除了考量橋梁集水區自身不安定土砂潛勢值之因子，也另外考慮各橋梁的耐受衝擊之能力。而受衝擊能力通常以橋梁的通洪斷面，作為重要的橋梁耐受程度的判斷因子。

1. 不安定土砂潛勢值及橋梁長度分群

本評估方法所蒐集之 TBMS 資料無橋梁淨高之資訊，亦未有橋梁之通洪斷面資訊，無法針對各橋梁的受衝擊程度進行評估。因此，本評估方法假設橋梁較長的橋梁，所跨越的河川通常較大，橋梁主體離河面的高度可能較高，而長度短的橋梁離河面較低。故選取橋梁長度作為通洪斷面因子之替代數據，藉此進行分析。並將其依照橋梁長度透過柱狀圖為參考，初判分為五群，橋梁長度長到短分別給定 1, 2, 3, 4 及 5 之數值。

同時，依本節(五)之內容完成 221 個橋梁集水區之 P 值後，也透過柱狀圖將 221 個橋梁集水區分為五群，將依各橋梁集水區之 P 值依風險程度分別給定 1,2,3,4 及 5。總結來說，橋梁長度及 P 值分群之代

表數值越高表示其風險最高，亦即不安定土砂潛勢高或橋梁長度 (通洪斷面) 小。

2. 橋梁集水區二維風險矩陣分析

最後，將前述分群後之數值，依各橋梁集水區的分群建構二維矩陣做為橋梁風險程度之判釋依據，藉由橋梁長度分群值 (1 ~ 5) 與 P 值分群值 (1 ~ 5) 相乘，可得到其風險值為 1 ~ 25 的區間。並依其風險值分為 5 個階段，分別為低 (1 ~ 3)、中 (4 ~ 5)、中高 (6 ~ 10)、高 (11 ~ 16) 與極高 (20 ~ 25) 風險 (圖 3-11)。並將此風險程度作為該橋梁集水區之風險指標。

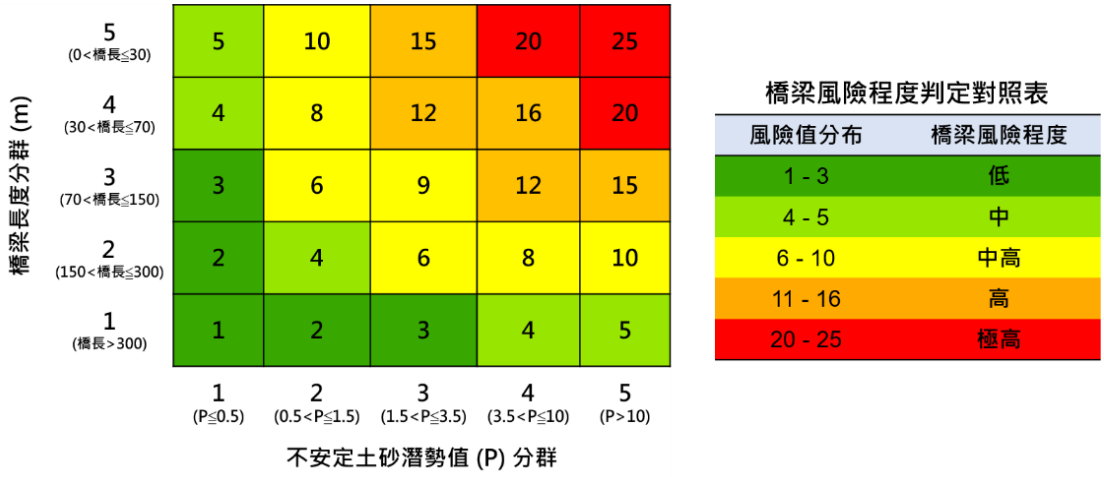


圖 3-11 橋梁集水區二維風險矩陣

(七) 荖濃溪流域現地勘查

1. 現地勘查規劃

為了解本評估方法之分群結果之評估準確度與可信度，本評估方法選擇以荖濃溪流域為優先調查區域，該流域自 2009 年莫拉克風災後，一直存在大量不安定土砂於河道及邊坡，從該風災後，每逢汛期常有土砂危害發生。且河道透空度高，沿線為台 20 線交通方便，具備研究調查之評估優勢。因此，於 111 年 9 月中旬，前往荖濃溪流域內被匡列之 15 個橋梁集水區，現地調查並記錄各橋梁現況 (高度、通洪斷面及工程情形)，調查點位如圖 3-12 所示。

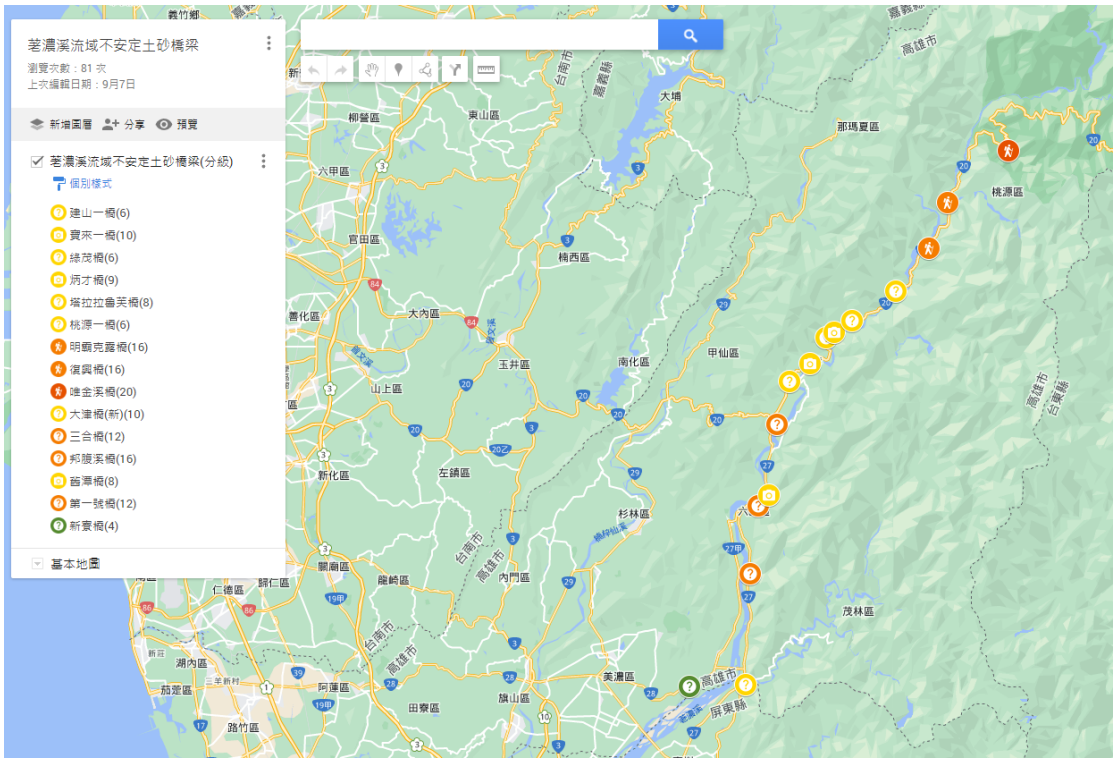


圖 3-12　本評估方法現勘點位分布圖 (Google Maps)

2. 橋梁淨高量測及驗證

本評估方法於現勘時的橋梁淨高量測方法為雷達測距儀的簡單三角測量法，於河道上游視野開闊處量測河道下游的橋梁底部上游側及橋梁下方的河道中心最深處，以獲取橋底與河道中心的高程差。為

了避免單次量測造成誤差，將於現地實施五次以上的重複測量，並以算數平均值做為該橋梁之淨高資訊。

然而，此測量方法僅為利用手持雷達測距儀，以雷達波及量測角度透過簡單三角測量法計算高程的快速測量方法，尚需驗證該簡單三角測量法於量測時的準確性，及其與真實淨高的誤差情形。因此，本評估方法同時利用 Bentley ContextCapture 軟體針對現勘規劃中的三座橋梁 (建山一橋、唯金溪橋及明霸克露橋) 分別進行無人飛行載具的三維建模，可透過該軟體內建之量測工具獲取橋梁淨高、跨距及河床位置高程等資訊。獲取模型之橋梁淨高數據後，比對兩者的橋梁淨高，探討雷達測距儀所量測橋梁淨高的準確性及限制條件。

3. 影像紀錄及水土保持工程調查

本評估方法於現勘時除收集 15 座橋梁的淨高資訊外，也利用無人飛行載具 (透空度許可) 或手持拍攝設備，對橋梁進行空中或地面影像紀錄，除調查記錄外亦可將此資料保存於未來的兩期不安定土砂量體變遷分析使用。此外，亦調查該水系於橋梁周圍既有或施工中的水土保持工程，目視判斷該水土保持工程是否仍具保護橋梁之效益、橋梁上游防砂壩壩體受土砂堆積情形及該水系是否持續衝擊橋墩等，並詳細記錄作為現勘之橋梁背景資訊。

最後，綜合評估現勘資訊與本快速評估法之成果，兩者在橋梁風險程度上，若具一定的相關性，則可認為本評估方法所匡列橋梁集水區之風險程度及不安定土砂潛勢，具一定程度上的參考性及快速判釋可行性。

三、 結果與討論

(一) 橋梁集水區風險值計算結果

計算 221 個橋梁集水區之 P 值結果顯示，大部分橋梁集水區的 P 值於 1.5 以下，然隨 P 值上升依序遞減，P 值大於 10 的橋梁集水區僅 22 個。柱狀圖分群方法將 221 個橋梁集水區分為五群，門檻值分別 1 (P≦0.5), 2 (0.5< P≦1.5), 3 (1.5< P≦3.5), 4 (3.5< P≦10) 及 5 (10 < P)(圖 3-13)。

此外，橋梁長度大多為 30 m 以上，以橋梁長度參考柱狀圖分布亦分為五群，並由長到短分別給定 1 (橋梁長度 > 300 m), 2 (150 m < 橋梁長度≦300 m), 3 (70 m < 橋梁長度≦150 m), 4 (30 m < 橋梁長度≦70 m) 及 5 (橋梁長度≦30 m) 之數值。橋梁集水區分群門檻值及各群數量如表 3-2 所示。

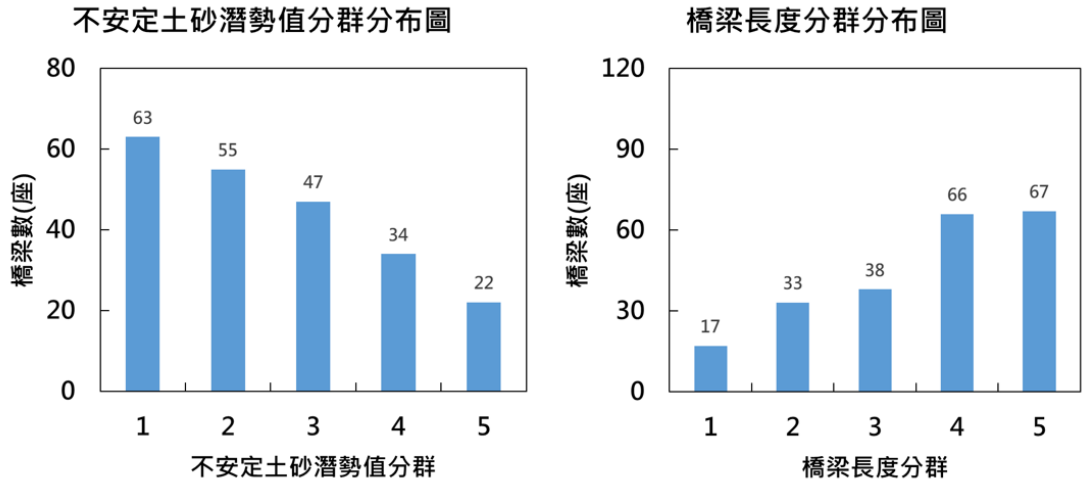


圖 3-13 不安定土砂潛勢值及橋梁長度分群柱狀圖

表 3-2 不安定土砂潛勢值及橋梁長度分群門檻值

P值	分群	各群數量	橋梁長度 (m)	分群	各群數量
0 ~ 0.5	1	63	>300	1	17
0.5 ~ 1.5	2	55	150 ~ 300	2	33
1.5 ~ 3.5	3	47	70 ~ 150	3	38
3.5 ~ 10	4	34	30 ~ 70	4	66
>10	5	22	0 ~ 30	5	67

註：**5表示其風險最高**，亦即不安定土砂潛勢高或橋梁長度(河道斷面)小

根據本評估方法將 221 個橋梁集水區以二維矩陣進行分析結果顯示，分類為極高風險橋梁集水區 5 個 (2.3%)、高風險橋梁集水區 50 個 (22.6%)、中高風險橋梁集水區 (37.1%)、中風險橋梁集水區 (32.6%) 及低風險橋梁集水區 (5.4%)(圖 3-14)(詳見附錄三)。根據風險值分群分布圖顯示，資料分布大約呈現常態分布，證明本評估方法在橋梁集水區之資料處理及分群設定上，皆無明顯偏差或數據極端值存在，具統計意義 (圖 3-14)。

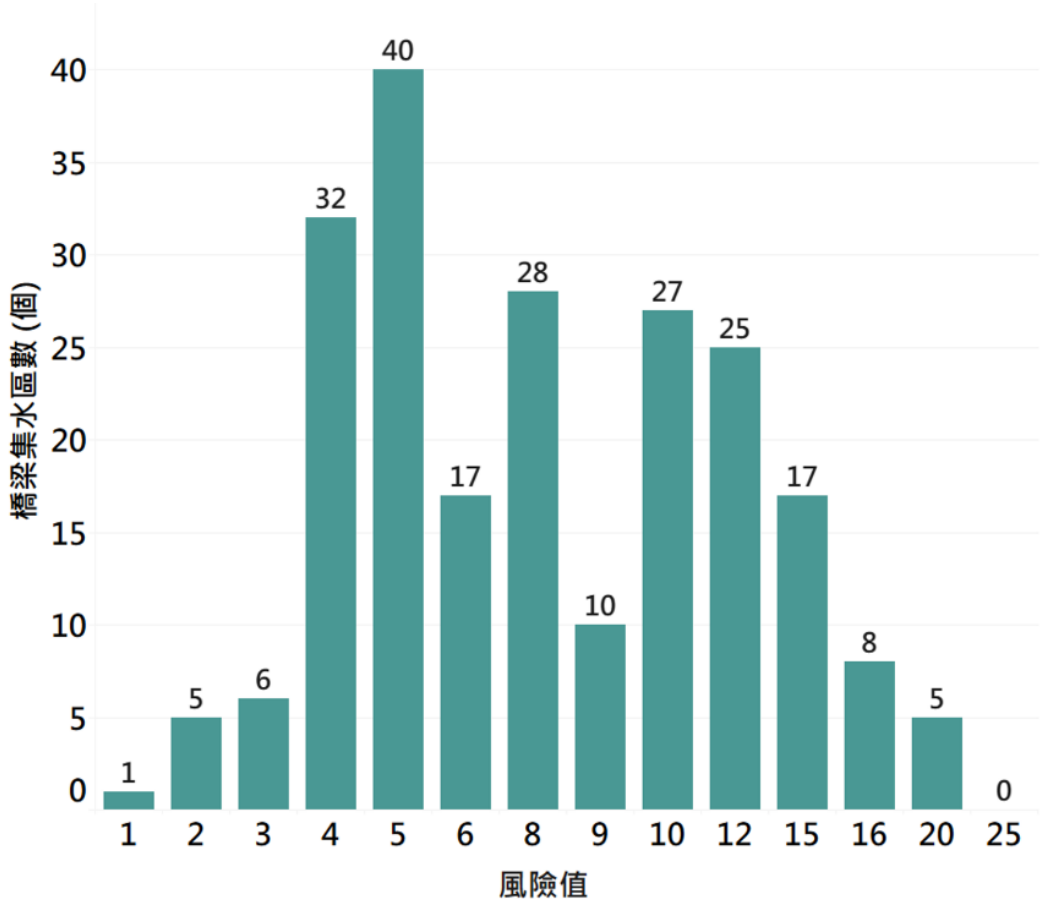


圖 3-14　橋梁集水區風險值分布圖

由橋梁集水區位置分布圖顯示，被匡列的橋梁集水區多分布於台灣東北部、海岸山脈沿岸及高屏溪流域支流，說明此三區域較多跨越支流之省道公路，亦為重要交通幹道 (圖 3-15)。統計數據顯示，依本評估方法共匡列 55 個具極高和高不安定土砂危害風險之橋梁集水區 (風險值大於 12)，其中 52 個為省道橋梁集水區與 3 個台鐵橋梁集水區 (表 3-3)。此結果也顯示，大部分鐵道以避開山坡地方式設計建置，在本評估方法匡列橋梁時，即被排除於外，僅有南迴線及北迴線之鐵路橋梁納入評估，因此被匡列之數量較少。

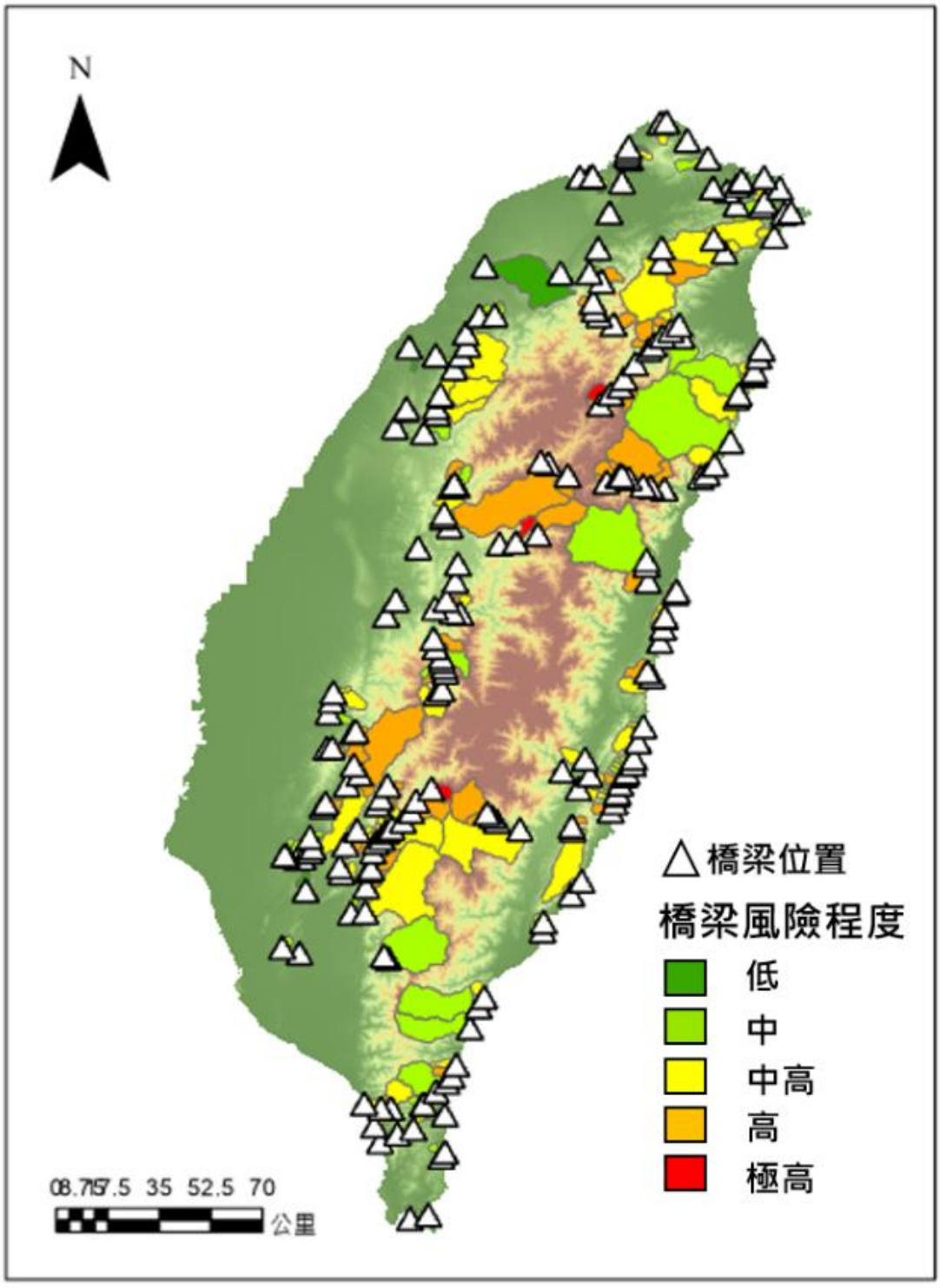


圖 3-15 橋梁集水區位置及風險程度分布圖 (221 個)

表 3-3 極高和高風險橋梁集水區列表 (藍字為台鐵橋梁集水區)

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線
第二號橋	20	屏東縣	霧臺	省道	臺24線	洛韶橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺8線
唯金溪橋	20	高雄市	桃源區	省道	臺20線	華祿橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺8線
大觀橋	20	南投縣	仁愛	省道	臺14線	枋野一號橋	12	屏東縣	獅子鄉	特甲級線	南迴線
則前橋(左)	20	宜蘭縣	大同	省道	臺7甲線	大鳥橋	12	臺東縣	大武	省道	臺9線
高義橋	20	桃園市	復興區	省道	臺7線	三合橋	12	高雄市	六龜區	省道	臺27線
邦腹溪橋	16	高雄市	六龜區	省道	臺27線	第一號橋	12	高雄市	六龜區	省道	臺27線
明霸克露橋	16	高雄市	桃源區	省道	臺20線	都威橋	12	臺東縣	長濱	省道	臺11線
仁愛橋	16	嘉義縣	番路	省道	臺18線	那都魯札橋(第1號鋼便橋)	12	高雄市	那瑪夏區	省道	臺29線臨11便道
西小清水溪橋	16	花蓮縣	秀林鄉	特甲級線	北迴線						
慈雲橋	16	花蓮縣	秀林	省道	臺8線	雙溪橋	12	臺南市	楠西區	省道	臺3線
木蘭橋	16	南投縣	仁愛	省道	臺8線	達卡努瓦橋	12	高雄市	那瑪夏區	省道	臺29線
東大清水溪橋	16	花蓮縣	秀林鄉	特甲級線	北迴線	大同三號橋	12	嘉義縣	大埔	省道	臺3線
四季一橋	16	宜蘭縣	大同	省道	臺7甲線	沙崙橋	12	嘉義縣	番路	省道	臺3線
石門橋	15	花蓮縣	富里	省道	臺23線	望鄉橋	12	南投縣	信義	省道	臺21線
霧鹿橋	15	臺東縣	海端	省道	臺20線	和平橋	12	花蓮縣	豐濱	省道	臺11甲線
利稻橋	15	臺東縣	海端	省道	臺20線	荖溪橋(北上)	12	花蓮縣	壽豐	省道	臺9丙線
復興橋	15	高雄市	桃源區	省道	臺20線	慈母橋	12	花蓮縣	秀林	省道	臺8線
大埔橋	15	嘉義縣	大埔	省道	臺3線	成武橋	12	臺中市	和平區	省道	臺8線
卓安橋	15	花蓮縣	卓溪	省道	臺30線	達盤橋	12	臺中市	和平區	省道	臺8線
幽谷橋	15	嘉義縣	中埔	省道	臺3線	可法橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺7甲線
信義橋	15	嘉義縣	番路	省道	臺18線	敦厚橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺7甲線
民和橋	15	南投縣	水里	省道	臺16線	百韜橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺7甲線
池南橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺9丙線	英士橋(右)	12	宜蘭縣	大同	省道	臺7線
雲龍橋	15	南投縣	仁愛	省道	臺14線	松羅橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺7線
北港溪橋	15	南投縣	國姓	省道	臺21線	大漢橋	12	桃園市	復興區	省道	臺7線
銘傳橋	15	臺中市	和平區	省道	臺8線	榮華橋	12	桃園市	復興區	省道	臺7線
稚暉橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺8線	霞雲橋	12	桃園市	復興區	省道	臺7線
慈恩橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺8線	烏來橋	12	新北市	烏來區	省道	臺9甲線

(二) 綜合評估結果

本評估方法以荖濃溪流域之玉穗溪附近橋梁進行綜合評估研判，如圖 3-16 及表 3-4。並結合已有資訊及衛星影像之交互比對，藉此探討本評估方法之評估可行性及準確性。

唯金溪橋為風險值 20 的極高風險橋梁，其位於南橫梅山口管制站後之受管制路段，上游集水區面積約 2,850 ha，主要係唯金溪上游仍有大量崩塌裸露地存在，受莫拉克風災破壞後至今持續有大量土砂產出，因此計算之 P 值為 13.32 (分群值為 5)。再考量其橋梁長度僅 48 m (分群值為 4)，且 Google 街景顯示舊橋曾有被沖毀紀錄，應持續密切注意該橋梁於豪雨事件時，受不安定土砂衝擊之情形。

復興橋上游為拉克斯溪集水區，面積約 6,153 ha，因上游多處崩塌且下游為復興部落，因此屬 111 年度水土保持局公告之土石流潛勢溪流。雖該集水區崩塌情形好發，導致 P 值為三座橋中最高 (分群值為 5)，但復興橋已實施加高且大跨徑設計，橋長較長 (分群值為 3)，

經矩陣分析後判定該橋風險值為 15，與明霸克露橋同屬高風險橋梁，而其河道上已有多次水保工程整治，應無立即危害。

明霸克露橋為降低對岸布唐布納斯溪土砂之衝擊，沿著荖濃溪左岸構築橋體，依公路總局 TBMS 系統所提供的總橋長資訊為 695 m。然而，實際上該橋跨越玉穗溪河口之橋梁段僅約 70 m，本評估方法為要了解橋梁集水區 (玉穗溪集水區) 之風險，故將該橋之橋梁長度修正為 70 m 再進行分析。評估結果顯示，明霸克露橋風險值為 16，僅屬高風險橋梁，但仍於 110 年盧碧颱風時被沖毀。本評估方法藉由歷年衛星影像的判釋，玉穗溪上游殘坡的不安定土砂於 2018 年始開始明顯滑移，然本評估方法之地文脆弱度僅使用 2005 ~ 2014 年的崩塌地圖資製作，導致 P 值應不只 3.84，推測可能有低估情形，進而影響本評估方法的判斷。

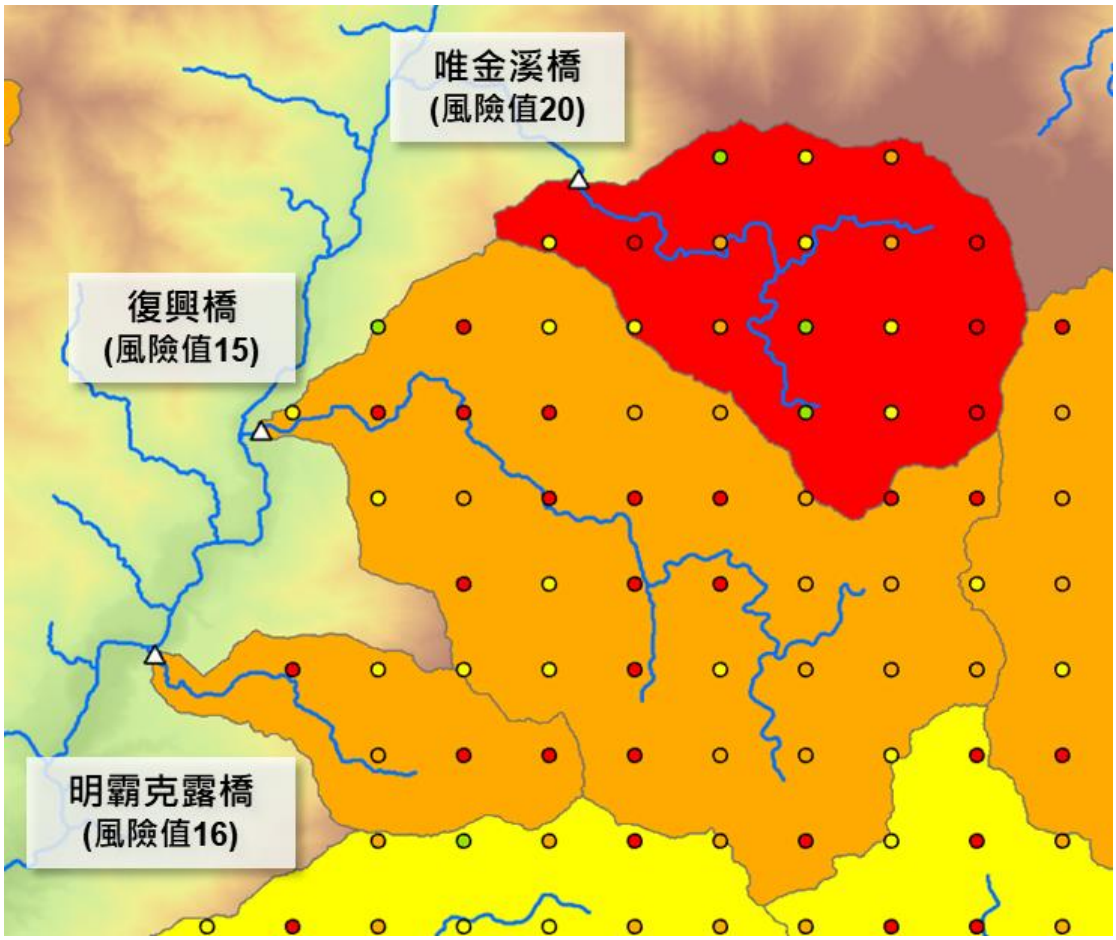


圖 3-16　明霸克露橋周圍綜合評估圖

表 3-4 明霸克露橋周圍綜合評估表

橋梁名	橋梁長度 (m)	橋長分群	P值	P分群	橋長分群*P分群 (風險程度)
唯金溪橋	48	4	13.32	5	20 (極高風險)
復興橋	144	3	15.15	5	15 (高風險)
明霸克露橋	70	4	3.84	4	16 (高風險)

第二節　現地調查-以荖濃溪流域內橋梁為例

一、　橋梁淨高量測及驗證結果

本評估方法以雷達測距儀簡單三角量測法量測建山一橋、唯金溪橋及明霸克露橋之淨高分別為 21 m、11 m 及 10 m；利用 Bentley ContextCapture 軟體量測內建之量測工具，量測無人飛行載具影像所建立的三維模型橋梁淨高量測結果分別為 27.0 m、14.6 m 及 10.6 m (表 3-5~表 3-6)。

主要誤差可能受限於量測點與橋梁間的距離，建山一橋因跨距較大，從橋梁上游之河床處量測橋梁之距離較遠，若在量測時有些微的角度的不同，在三角計算上會產生較大的影響，導致測量淨高之誤差大。反之，在唯金溪橋及明霸克露橋的量測，因其橋梁遮蔽少、透空度高且橋梁跨距小，易於以雷達測距儀瞄準及量測，使得該兩座橋梁之淨高數據誤差小。以明霸克露橋為例，量測距離約 200 m 的情況下僅有 0.6 m 的高度誤差，也驗證了此本評估方法使用之三角量測法之可行性。

綜上結果顯示，模型量測橋梁淨高值與雷達測距儀進行之三角測量法淨高數據雖有誤差，但初步可認定為現地上的限制，人為量測時的操作影響導致，無明顯儀器或三角測量法的錯誤，故認為本評估方法利用雷達測距儀所計算之橋梁淨高仍具參考價值。

表 3-5 雷達測距儀三角測量與三維建模淨高比對表

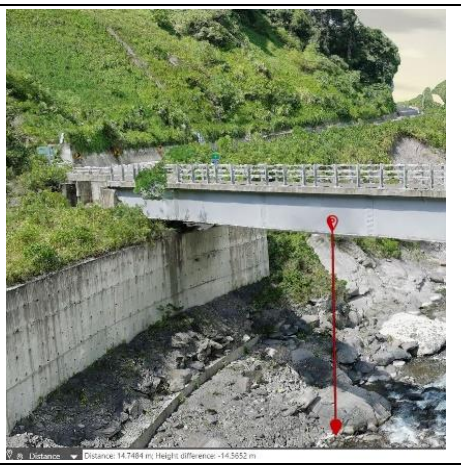
建山一橋	
	
雷達測距儀三角測量：21 m	三維建模淨高：27.0 m
唯金溪橋	
	
雷達測距儀三角測量：11 m	三維建模淨高：14.6 m
明霸克露橋	
	
雷達測距儀三角測量：10 m	三維建模淨高：10.6 m

表 3-6 現勘結果紀錄表

橋梁名	公路總局及快速分析資料			現勘調查資料			
	總橋長 (m)	最大跨距 (m)	不安定土砂潛勢值	淨高 (m)	橋墩數	工程情形	斷面現況
唯金溪橋	48	48	13.3	11	0	無	束縮段且斷面小
邦腹溪橋	70	35	4.7	10	1	有 (系列壩*7)	整治後暫無危害
明霸克露橋	695	45	3.8	10	7	臨時橋	仍危險
復興橋	144	48	15.1	11	2	有	應無立即危害
三合橋	77.5	27.5	5.7	8	1	有	應無立即危害
第一號橋	17.6	17.6	1.2	9.4	0	有 (損毀)	斷面小、危險
大津橋(新)	250	70	28.4	10	4	下游段清疏	河床高、危險
寶來一橋	220	40	18.4	11	3	無	斷面足夠
炳才橋	140	60	3.5	75	2	有	斷面足夠
舊潭橋	35	35	1.4	17	0	施工中	斷面足夠
塔拉拉魯芙橋	254	105	4.2	30	2	有	斷面足夠
建山一橋	170	70	2.0	21	2	有 (系列壩*4)	斷面足夠
綠茂橋	250	75	1.8	24	2	有	斷面足夠
桃源一橋	298	115	3.7	54	2	有	斷面足夠
新寮橋	51.72	25.86	0.2	3	1	有	無常流水

然而，因橋梁之總橋長及最大跨距與橋梁淨高尺度差距大，為探討橋梁之總橋長及最大跨距與淨高之相關性，而對橋梁之總橋長及最大跨距取對數後與橋梁淨高進行比較。而該結果顯示兩者之對數皆與橋梁淨高為正相關 (圖 3-17)。相關性比較圖顯示出如炳才橋之例外極端情形，該橋梁之總橋長與最大跨距分別僅 140 m 及 60 m，而淨高卻約為 75 m，造成圖 3-17 中有較大離群值出現。而其餘橋梁淨高僅受河床堆積程度影響，無明顯偏差存在，因此推測以總橋長作為風險程度因子之評估方式有一定的代表性。

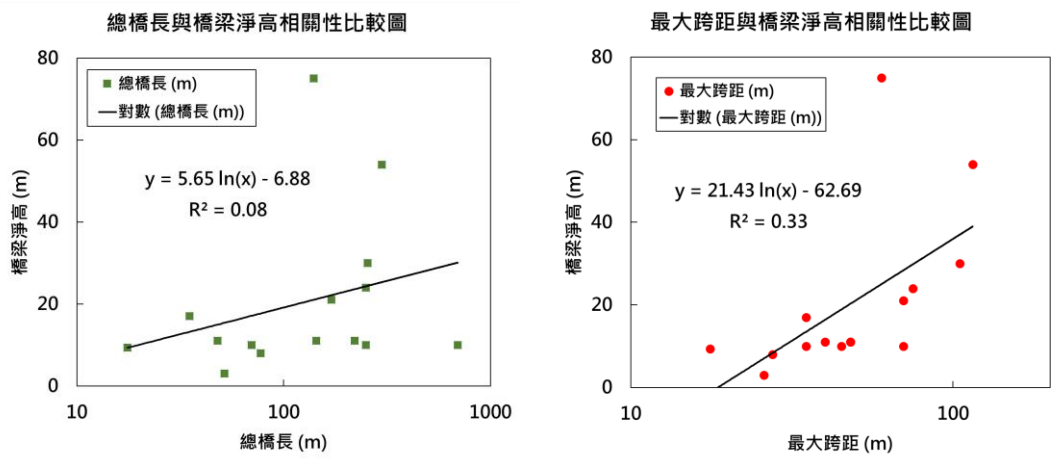


圖 3-17 橋梁資訊與橋梁淨高相關性比較圖

橋梁淨高最高的橋梁為炳才橋 (圖 3-18 左)，橋梁淨高約 75 m，其橋梁位於高雄市桃源區興中國民小學旁的浦頭溪上，橋墩數為 2 個，設置於河道兩旁高灘地，不受常流水衝擊，通洪斷面足夠。上游有水土保持工程設施，於現勘時仍有防砂作用，判斷此橋應無立即危害，符合中高風險 (風險值 9) 橋梁集水區之分群 (表 3-6 黃底)。然而，淨高最低的橋梁為新寮橋 (圖 3-18 右)，淨高僅約 3 m，現勘時判斷，雖橋梁之通洪斷面小，但該橋跨越之水系的集水區面積較小，現勘時無流水且河道坡度平緩，判斷該橋亦無立即危害，與快速評估法判斷為風險值 4 之中風險橋梁集水區分群相符 (表 3-6 淺綠底)。



圖 3-18　炳才橋及新寮橋現勘情形 (左：炳才橋、右：新寮橋)

此外，現勘結果顯示，荖濃溪流域內之跨支流橋梁大多已加高橋梁淨高，已有加大跨距減少流路干擾之設計，多數風險值較高橋梁，也已有水土保持局或其他相關單位的河川整治工程 (圖 3-19)。



桃源一橋



塔拉拉魯芙橋

圖 3-19 荖濃溪流域內之跨支流橋梁

本次現勘調查後，認為有三座橋梁較具立即的危害風險，分別為唯金溪橋、明霸克露橋及大津橋 (新)。其中，唯金溪橋因上游集水區面積大 (約 2,850 ha)，且集水區內地文脆弱度高，為本評估方法中風險值最高之橋梁 (風險值為 20)。由正射影像顯示，橋梁建置於唯金溪河道隘口處，橋梁上游段為河道轉彎處，且左岸轉彎段有河岸掏刷坡腳而形成之崩塌地，以及河道左側的大量土石堆積 (圖 3-20)。由現地拍攝之影像亦顯示，該橋梁雖無橋墩建置於河道上，但因建置於該地形隘口處，與河道高程僅 11 m (圖 3-21 左)，通洪斷面小且可能造成河流於洪水來時束縮，導致危害。且該橋梁上游之河床仍堆積大量大粒徑之石塊，判斷該橋梁之通洪斷面，可能無法及時排除如此大量的土砂或土石流，認定存有風險疑慮 (圖 3-21 右)。



圖 3-20　唯金溪橋正射影像 (右側為上游)



橋梁側拍



上游河床堆積

圖 3-21　唯金溪橋河床現況紀錄

明霸克露橋集水區面積約 1,218 ha，該橋於 110 年盧碧颱風時，因上游斯拉巴庫山殘坡滑落，引發大規模土石流，將原本設計之橋梁沖毀。公路總局為緩解該地區之交通阻礙，於原地點重建鋼便橋，以利當地民眾通行。至 111 年 9 月中旬現勘時，該河道仍有大量土砂淤積於河口處，且崩塌而產生的大量不安定土砂堆積於河道上，使上游河床仍處不穩定狀態，每逢降雨皆會發生間歇性的土石流衝擊鋼便橋

(圖 3-22)。由圖 3-23 顯示，左圖為明霸克露橋鋼便橋目前現況，藉鋼構橋墩的土流痕跡，顯示該橋墩在暴雨來臨時將完全淹沒於水面下，常受到強烈的土砂衝擊；右圖顯示，河口處於無雨日時以人工清疏，為下次土石流來臨時製造緩衝沉砂空間，惟人工清疏速度有限，僅能將橋底至河道最深處清疏約 10 m 之容量，因此判斷此鋼便橋仍屬非常危險狀態。



圖 3-22 明霸克露橋正射影像 (右側為上游)



橋梁側拍　　上游清疏情形

圖 3-23 明霸克露橋河床現況紀錄

大津橋 (新) 位於高雄市茂林地區濁口溪與荖濃溪的交會口，而濁口溪曲流蜿蜒，且集水區內地質脆弱導致裸露地多，具高土砂生產量之特性。橋梁位置位在茂林入口意象公園旁，為 S 型曲流段，濁口溪流速在此處受地形影響而降低，導致上游累積大量土砂因水流流速降低逐漸淤積於此。由往年的衛星影像或圖 3-24 顯示，現勘時該橋下游段正進行著每年度例行性的清疏作業，該清疏作業由下游荖濃溪河岸旁向上游清疏至橋梁所在位置。惟人力清疏仍受限於效率，該橋下的河床目前距離橋底僅剩約 10 m 淨高，且橋梁已幾乎埋沒於河床土砂中，導致通洪斷面小。雖此處可能因其地形流速較低，但本方法之現勘結果仍認為該橋梁受下次的土砂衝擊風險程度高 (圖 3-25)。



圖 3-24　大津橋 (新) 正射影像 (右側為上游)



橋梁側拍



空拍河床堆積

圖 3-25 大津橋 (新) 現況紀錄

第三節 結果與討論

一、 定期評估橋梁集水區之不安定土砂潛勢

以荖濃溪流域為例，藉由綜合評估及現地勘查之結果顯示，本研究提出之不安定土砂風險區快速評估法所篩選出之不安定土砂區，其橋梁跨度小、橋梁高度低、上游多有崩塌發生、河道亦有大量土石堆積，多為河道瓶頸段，確實具有高風險之土砂災害潛勢。因此，本方法可用於快速判斷哪座橋梁存在較大的不安定土砂危害風險，進而進行相關的因應或應變工程措施。若後續能持續更新不安定土砂資訊，可作為各橋梁集水區不安定土砂之定期健檢，以增加防災韌性。

二、 完備橋梁資訊精進評估能力

由於不安定土砂潛勢值 P 值與集水區面積有關，為消除集水區大小之影響，故需同步納入橋梁通洪斷面資訊，方能合理評估各橋梁實際承受不安定土砂潛勢之風險。而取得之省道與台鐵橋梁資訊，僅有橋梁長度，並無橋梁淨高，故目前僅能以橋梁長度取代通洪斷面作為評估指標，如能納入橋梁淨高現況，應可獲致更精確之成果。

三、 地文脆弱度更新及量體評估

惟本評估方法使用地文脆弱度指標僅整理 94 ~ 105 年林務局崩塌圖層，尚無 106 ~ 110 年之資料，於地貌變遷之統計尚不完整。且地文脆弱度指標僅能代表該區產出不安定土砂之潛勢，尚無法求出不安定土砂量體。如未來需精確估算不定定土砂量體，可考量導入空載光達或衛星立體像對等技術。定期追蹤不安定土砂之量體及生產頻率，並定期依產製之圖資更新本評估方法。

四、　強化橋梁集水區水文模擬

引發不安定土砂災害之條件，除地文條件外，亦需考慮誘發不安定土砂開始移動之水文等啟動條件，以及相關的土砂移動情境之數值模擬。此外，不安定土砂災害常屬水砂及土砂同時發生之複合型災害，因對如時間、空間、因果及不同災害類型之各條件進行多重耦合分析，以強化水土保持局及相關單位之災害應變預警及防災規劃能力。

第四章 基礎資料加值與模式應用

第一節　資料視覺化應用

近年來，政府相關資料隨著開放資料的趨勢進行中，但太過詳細的資料往往乏味且冗長，難以讓使用者一眼即獲得所需要的資訊。因此，水土保持局正積極地將業務相關的各式開放資料視覺化，以提供管理決策者一快速通盤性掌握事件統計結果之關鍵訊息。本研究計畫以 Tableau 平台作為視覺化資料流通與共享管道，在線上展示互動圖台外，也可以讓使用者直接下載建構圖表時所使用的原始數據資料，並再次賦予資料新價值，促進資料加值的應用性。

本 (111) 年度基礎資料加值與模式應用部分，本計畫彙整水土保持局內可公開資料及政府資料開放平台，以 Tableau 進行視覺化展示「縣市政府轄管橋梁資料」及「簡易防災地圖 (線上版) 」兩主題，分享於水土保持局技術研究發展平台之視覺化成果展示頁面。瀏覽人次統計至 12 月為止，前者於 3 月上線至今約有 177 人次瀏覽，後者於 5 月上線至今約有 566 人次瀏覽，實具加值應用成效 (基準：政府資料平台之「避難收容處所點位檔」於 2017 年上架至今約 1,361 次下載)

一、 縣市政府轄管橋梁資料視覺化

為視覺化臺灣地區橋梁管理資訊系統 (Taiwan Bridge Management System, TBMS) 所包含之農路橋梁 ，以系統上農路橋梁的相關點位數據結合五大流域為展示要點，並由灰至藍色色階及標記大小來顯示各橋梁總長數據，可直接了解橋梁的規模分布 (圖 4-1)。並加入五大流域 (淡水河、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪流域) 為區域劃分。使用者於操作時，可由滑鼠圈選欲了解區域，或直接至下拉式選單選擇縣市，並藉 Tableau 模組，自動連動顯示相關圖形，並自動統計所選區域之橋梁數量及總長於頁面中，及五大流路所含橋梁之柱狀圖 (圖 4-2)。



圖 4-1 縣市政府轄管橋梁(農路橋梁)，資料來源：臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)



圖 4-2　Tableau 線上圖台連動示意圖

二、　簡易防災地圖 (線上版)

自主防災地圖為水土保持局持續推動於建構韌性社區之一項重要業務，惟其需仰賴各局處單位及鄉鎮市區公所或縣市政府定期地資料維護及更新，才能適切地應對各式天然災害。因此，本研究計畫於政府開放資料平台蒐集「避難收容處所點位檔」、「各縣 (市) 警察 (分) 局暨所屬分駐 (派出) 所地址資料」及「救援與應變單位點位」等開放資料，並結合 Tableau 線上互動平台之優勢，視覺化了臺灣各鄉鎮市區之避難場所點位及收容人數及聯絡資訊等。

同時，為能使防災地圖更具備實際應用效益，本研究計畫將中華民國醫師公會全國聯合會所統計之醫療資源資料一併結合於資訊表中，建構出此簡易防災地圖 (線上版)，可以依需求透過選擇所需了解的鄉鎮市區，圖台將自動展示該鄉鎮市區所有避難場所、聯絡資訊、場所位置及醫療資源等資訊，供民眾或管理者可對所在區域之相關自主防災資源一目瞭然 (圖 4-3)。



圖 4-3　簡易防災地圖示意圖(臺南市安南區為例)

第二節　BigGIS 平台操作教學分享

巨量空間資訊系統 (Big Geospatial Information System, BigGIS) 係針對水土保持局空間圖資業務需求所建置。透過將資料整合符合國際標準之空間資料庫於 WebGIS 圖台，讓使用者可設定任意時間、空間、或其他屬性，快速查找各式衛星或航照等圖資。並兼具各項線上分析功能，如坡度坡向圖、等高線圖、地形剖面線等。因而，本 (111) 年度與新北市地理課程發展中心教師們合作，將 BigGIS 上的分析功能與 108 課綱之地理課程部分結合，並針對相關應用進行分享，以達到全民化普及地理資訊系統之目標。

本計畫於 111 年上半年，前往新北市立海山高中完成 4 堂 BigGIS 課程之教學 (表 4-1)，使教師們做為圖台種子教師，發散之擴散於高中學生，達到推廣成效。也藉由與地理教師們的交流，了解民眾於使用圖台時之實際需求，反饋於水土保持局於 BigGIS 圖台之相關精進，使其更為直觀且實用。教學過程中教師們反應熱烈，據新北市地理教師們之回饋，BigGIS 已於 111 年 9 月新學期開始後正式納入其高一至高三的教案中，(表 4-2~表 4-5、圖 4-4~圖 4-5)。

表 4-1　110 下新北市地裡課程發展中心教師專業成長研習營

110 下新北市地理課程發展中心教師專業成長研習

計畫：新北市地理課程發展中心 110 學年度下學期教師專業成長與探究實作研習計畫
依據：新北市政府教育局 110 年 8 月 30 日新北教中字第 11016058061 號函辦理
目的：為因應新課綱教師開設探究與實作及多元選修等課程之需要，地理資訊、環境與社區發展及文史資源搜尋探討為社會科必備素養教材，並藉此提升教師教學技能。
地點：**新北市立海山高中高中部六樓地理教室**
人數：**25 人**
講師：**行政院農委會水土保持局技術研究發展小組**
時間：**星期三上午 9:00~13:00(4/13,4/20,4/27,5/4)**
主題：**水土保持與 BigGIS 平台操作應用**
活動安排：

日期	主題	講師	摘要
4/13	BigGIS 介紹	柯明勳	9：00~10：30　BigGIS 平台介面操作 10：30~12：00　認識地理資訊的資料特性與應用 12：00~　問題與討論
4/20	BigGIS 資料應用與分析	林宥伯	9：00~10：30　地形分析 10：30~12：00 從地形圖辨識集水區 12：00~　問題與討論
4/27	BigGIS 主題式加值應用	莊承穎	9：00~10：00　防災地圖繪製 10：00~11：00 環境變遷分析 11：00~12：00 主題故事地圖簡介 12：00~　問題與討論
5/4	BigGIS 故事地圖分享	許炘志	9：00~11：00　主題故事地圖發表 11：30~12：00　BigGIS 綜合討論 12：00~　座談

表 4-2　海山高中第一堂教學課程及報名資訊

課程及報名資訊

· 課程編號：3365893　　· 登錄日期：2022/02/16

非學分班　　高中(含完全中學高中部及綜合中學高中部) / 教學 / 社會領域 / 地理

水土保持與BigGIS平台操作應用_BigGIS介紹

課程資訊

· 上課日期：	2022/4/13(三)至2022/4/13(三)	· 課程時段：	週一至週五白天
· 開課地點：	新北市板橋區漢生東路215號海山高中部六樓地理教室		
· 研習時數：	4小時/學分		
· 課程簡介：	BigGIS平台介面操作 認識地理資訊的資料特性與應用		
· 課程表及注意事項：	9：00~10：30 BigGIS平台介面操作 10：30~12：00 認識地理資訊的資料特性與應用 12：00~ 問題與討論		
· 師　　資：	[社專人士]柯明勳		
· 依據文號：	[自主辦理]110.08.30新北教中字第11016058061號		
· 研習附件：	1．2022下救難機修網研習附件　水保局.pdf　(169.4 KB) 2．新北課程平台110公文.pdf　(110.6 KB)		

報名資訊

· 報名日期：	2022/02/16(三)起至2022/04/13(三)止	· 線上報名：	開放線上報名 2022/02/16 00:00起(24小時制)
· 參加對象：	高中 / 高職 / 國中教師		
· 開班班數：	1班	· 各班人數：	25人
· 繳費金額：	0元	· 繳費方式：	無

開課單位

· 開課單位：	新北市 市立海山高中
· 承 辦 人：	姓　　名：王淑娟 聯絡電話：02-29517475#381 E-Mail：scw@hshs.ntpc.edu.tw

其他

· 區管中心：	新北市政府教育局
· 審課方式：	人工審核

表 4-3　海山高中第二堂教學課程及報名資訊

課程及報名資訊

· 課程編號：3365896　　· 登錄日期：2022/02/16

非學分班　　高中(含完全中學高中部及綜合中學高中部) / 教學 / 社會領域 / 地理

水土保持與BigGIS平台操作應用_BigGIS資料應用與分析

課程資訊				
	· 上課日期：	2022/4/20(三)至2022/4/20(三)	· 課程時段：	週一至週五白天
	· 開課地點：	新北市板橋區溪生東路215號海山高中部六樓地理教室		
	· 研習時數：	4小時/學分		
	· 課程簡介：	地形分析 從地形圖辨識集水區		
	· 課程表及注意事項：	9：00~10：30 地形分析 10：30~12：00 從地形圖辨識集水區 12：00~ 問題與討論		
	· 師　　資：	[社專人士]林宥伯		
	· 依據文號：	[自主辦理]110.08.30新北教中字第11016058061號		
	· 研習附件：	1．新北課程平台110公文.pdf　(110.6 KB) 2．2022下教師進修網研習附件__水保局.pdf　(169.4 KB)		

報名資訊				
	· 報名日期：	2022/02/16(三)起至2022/02/16(三)止	· 線上報名：	開放線上報名 2022/02/16 00:00起(24小時制)
	· 參加對象：	高中 / 高職 / 國中教師		
	· 開班班數：	1班	· 各班人數：	25人
	· 繳費金額：	0元	· 繳費方式：	無

開課單位		
	· 開課單位：	新北市 市立海山高中
	· 承 辦 人：	姓　　名：王淑娟 聯絡電話：02-29517475#381 E-Mail：scw@hshs.ntpc.edu.tw

其他		
	· 區管中心：	新北市政府教育局
	· 審課方式：	人工審核

表 4-4　海山高中第三堂教學課程及報名資訊

課程及報名資訊

· 課程編號：3365898　　· 登錄日期：2022/02/16

非學分班　　高中(含完全中學高中部及綜合中學高中部) / 教學 / 社會領域 / 地理

水土保持與BigGIS平台操作應用_BigGIS主題式加值應用

課程資訊

· 上課日期：	2022/4/27(三)至2022/4/27(三)	· 課程時段：	週一至週五白天
· 開課地點：	新北市板橋區溪生東路215號海山高中部六樓地理教室		
· 研習時數：	4小時/學分		
· 課程簡介：	防災地圖繪製 環境變遷分析 主題故事地圖簡介		
· 課程表及注意事項：	9：00~10：00 防災地圖繪製 10：00~11：00 環境變遷分析 11：00~12：00 主題故事地圖簡介 12：00~ 問題與討論		
· 師　　資：	[社區人士]莊承穎		
· 依據文號：	[自主辦理]110.08.30新北教中字第11016058061號		
· 研習附件：	1．新北課程平台110公文.pdf　(110.6 KB) 2．2022下教師進修網研習附件__水保局.pdf　(169.4 KB)		

報名資訊

· 報名日期：	2022/02/16(三)起至2022/02/16(三)止	· 線上報名：	開放線上報名 2022/02/16 00:00起(24小時制)
· 參加對象：	高中 / 高職 / 國中教師		
· 開班班數：	1班	· 各班人數：	25人
· 繳費金額：	0元	· 繳費方式：	無

開課單位

· 開課單位：	新北市 市立海山高中
· 承 辦 人：	姓　　名：王淑娟 聯絡電話：02-29517475#381 E-Mail：scw@hshs.ntpc.edu.tw

其他

· 區管中心：	新北市政府教育局
· 審課方式：	人工審核

表 4-5 海山高中第四堂教學課程及報名資訊

課程及報名資訊

· 課程編號：3365901　　· 登錄日期：2022/02/16

非學分班　　高中(含完全中學高中部及綜合中學高中部) / 教學 / 社會領域 / 地理

水土保持與BigGIS平台操作應用_BigGIS故事地圖分享

課程資訊

· 上課日期：	2022/5/4(三)至2022/5/4(三)	· 課程時段：	週一至週五白天
· 開課地點：	新北市板橋區溪生東路215號海山高中部六樓地理教室		
· 研習時數：	4小時/學分		
· 課程簡介：	主題故事地圖發表 BigGIS綜合討論		
· 課程表及注意事項：	9：00~10：00 防災地圖繪製 10：00~11：00 環境變遷分析 11：00~12：00 主題故事地圖簡介 12：00~ 問題與討論		
· 師　　資：	[社專人士]許炘志		
· 依據文號：	[自主辦理]110.08.30新北教中字第11016058061號		
· 研習附件：	1．新北課程平台110公文.pdf　(110.6 KB) 2．2022下教師進修網研習附件__水保局.pdf　(169.4 KB)		

報名資訊

· 報名日期：	2022/02/16(三)起至2022/02/16(三)止	· 線上報名：	開放線上報名 2022/02/16 00:00起(24小時制)
· 參加對象：	高中 / 高職 / 國中教師		
· 開班班數：	1班	· 各班人數：	25人
· 繳費金額：	0元	· 繳費方式：	無

開課單位

· 開課單位：	新北市 市立海山高中
· 承 辦 人：	姓　　名：王淑娟 聯絡電話：02-29517475#381 E-Mail：scw@hshs.ntpc.edu.tw

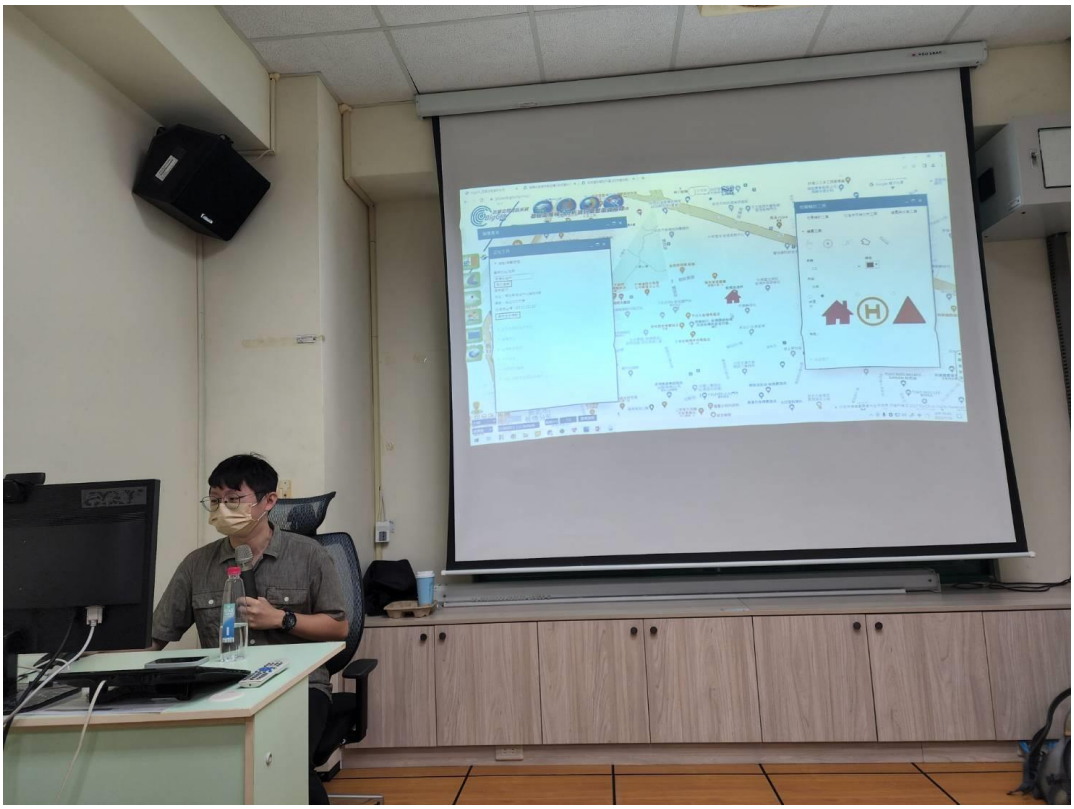


圖 4-4　水保局講師莊承穎



圖 4-5　水保局講師許炘志

第五章 強化技術支援與培訓人員能力

氣候變遷與複合型災害已是防災核心議題，同時極端氣候也提高了大規模土砂災害與二次災害的發生機率及影響層面，而國內外對策上，也對應不同任務需要，納入了人員培訓、軟硬體整合、模式應用等支援架構，如日本國土交通省 TEC-FORCE 緊急災害對策派遣隊，平時應用無線與衛星通訊、遙控無人飛行載具具進行培訓應用，並於災害發生後第一時間進行現場調查與支援；美國地質調查局 USGS 透過無人飛行載具整合系統 (Unmanned Aircraft Systems, UAS) 協助美國內政部 (Department of the Interior ,DOI) 管理 20%以上的公有土地，以及各種測繪、研究、火山監控、搜救等業務；臺灣國家災害防救科技中心 (NCDR) 透過即時數據儀表板、模式預測、情資研判等技術支援，協助各單位防災應用。

由國內外防災應用可見軟硬體整合、支援、培訓、應用的重要性及發展潛力，參考以上經驗，從土砂災害對策角度切入，發展技術支援與策略建議。111 年度教育訓練及技術支援如表 5-1 及表 5-2。

表 5-1　技術培訓規劃與實質應用效益

策略	執行、研究方向	預期效益
人才培訓	無人飛行載具操作教育訓練 VR 虛擬實境模組應用	讓公務同仁能熟悉無人飛行載具相關業務上的操作實作能力與提升虛擬實境相關知識能力。
加值應用	SfM 三維建模技術應用 數值模式應用	提升同仁影像拍攝後製成三維模型的能力，加強三維模型資料於土石流數值模擬的實作能力

表 5-2 各分局技術支援

分局技術支援	支援 / 培訓類型
臺北分局	eGNSS 測量儀器與操作訓練 無人飛行載具 3D 模型展示
花蓮分局	正射影像加值與模型水面制約技術 無人飛行載具 3D 模型展示
臺中分局	無人飛行載具 3D 模型展示
南投分局	VR 虛擬實境模組應用

第一節　強化無人飛行載具協作及人員培訓

一、　無人飛行載具操作人員培訓

無人飛行載具技術已廣泛用於災害調查、空拍測繪、防災搜索等領域，且目前已由民航局規劃相關法規及操作證制度進行管理，但在業務執行上許多操作人員證照已面臨第一次換證期限，而在法規上也已進行調整，需重新熟悉，是為早期持證人員面臨的問題。

而在空拍成果持續累積的基礎上，這些資料所衍生的加值產品、效益，比如多期正射影像製作與判釋、用運攝影測量技術進行 3D 場景重建，資料處理技術隨著業務應用的擴大，業務或承辦人員在飛行操作之外，多需仰賴委辦團隊或技術人員協助，在時效性案件的支援上略顯不足，尚待克服。

藉由法規、影像處理與操作技術培訓，可進一步強化人員相關能力，然而在無人飛行載具實體培訓上，受場地影響甚鉅，或者初階訓練人員對硬體掌握度不高，導致訓練成效不足等情況，這些實體培訓上的困難點在於氣候場地，以及實機訓練前的體驗訓練，則可嘗試由數位技術模擬操作，以達到基礎培訓或克服氣候影響。

因此，為強化相關業務同仁無人飛行載具應用與資料處理能力，規劃相關之教育訓練，包括影像後處理、無人飛行載具操作考照、無

人飛行載具虛擬操作訓練、無人飛行載具-VR 模型訓練模組等類型，提升同仁技術能力。

(一) 無人飛行載具操作訓練

本 (111) 年度執行無人飛行載具操作教育訓練，訓練課程安兩天半，除本局及分局人員外，更進一步開放業務合作與地方單位水保業務人員，學員組成上分為三類型：

1. 無經驗者：

針對完全無經驗者，由教官進行操作軟體、硬體規格、航線規劃、緊急處置及學科內容等說明。實機操作則以具備 GPS 模式之無人飛行載具進行操作解說，課程規劃以協助學員熟悉空間操作感、空氣阻力、GPS 模式與姿態模式差異、業務操作案例介紹、任務安全措施為主。術科測驗則以專業基本級，以及 GPS 模式帶領學員進行操作。



圖 5-1　針對無基礎者進行無人飛行載具實地教學及操作練習

2. 有經驗、未考證：

部分已操作過教學型無人飛行載具，或已有操作經驗，尚未考證者，課程規劃以目前民航局逐級報考規劃、不同業務應用與證照需求、任務相關限制及術科科目練習與姿態模式操作為主。訓練期間也特別安排教官從旁協助，以快速解答學員操作相關問題，同時藉由最後模擬考方式，使學員熟捻考證流程，同時檢核訓練成果。

3. 已考證、需換證或考取其他等級：

少數已擁有專業證照，欲增加不同機型能力，或是屆期換證者，以新版換證學科、考試學科、術科操作流程、緊急處置及任務為主。訓練期間，除提供所需考證機型練習外，協調其帶領其他較不熟悉無人飛行載具操作之學員練習，並與其他參訓學員分享其考照或相關實務經驗等。

(二) 無人飛行載具影像資料後處理

水土保持局內同仁於無人飛行載具蒐集完影像資料後，大多受限於軟體門檻，而無法將其拍攝成果展現或提供。因此，本 (111) 年度針對無人飛行載具空拍資料後處理技術，進行推廣並辦理局內同仁之教育訓練，課程內容以農委會大量授權之 Drone2MAP，以及本局採購之 Bentley ContextCapture 進行。此兩套軟體可分別對無人飛行載具空拍、斜拍、影片等進行後處理，包括產製 2D 正射影像、導入控制點測量坐標、3D 模型產製等應用。

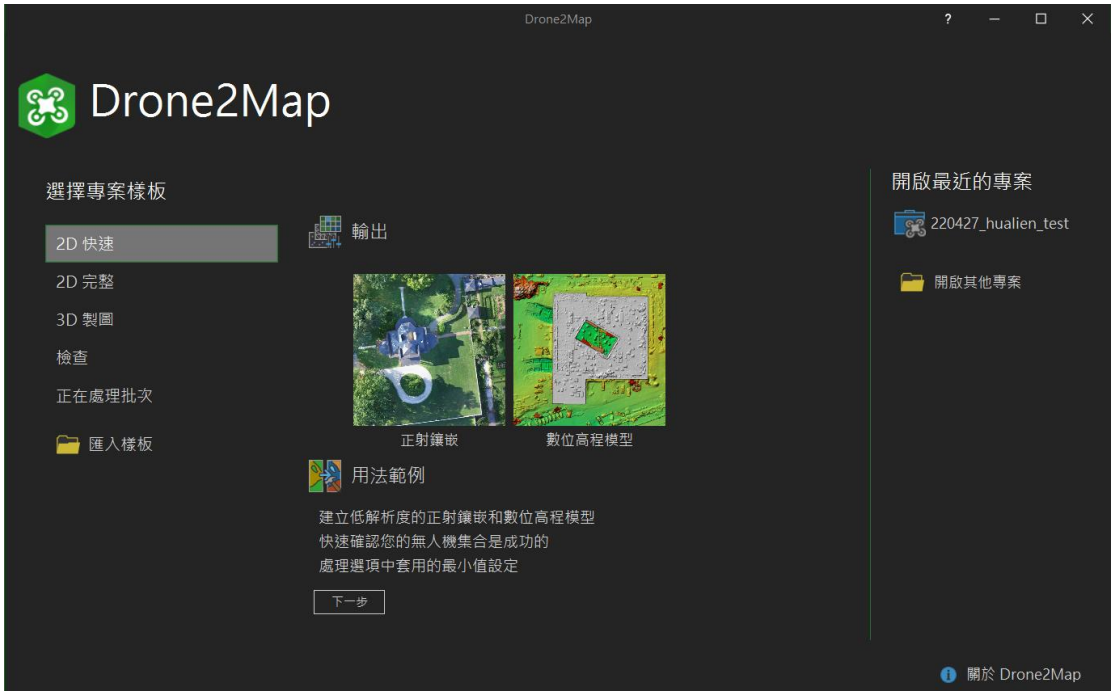


圖 5-2　Drone2MAP 軟體 (農委會大量授權)



圖 5-3 Drone2MAP 軟體支援快速 2D 正射、數值模型與 3D 建模

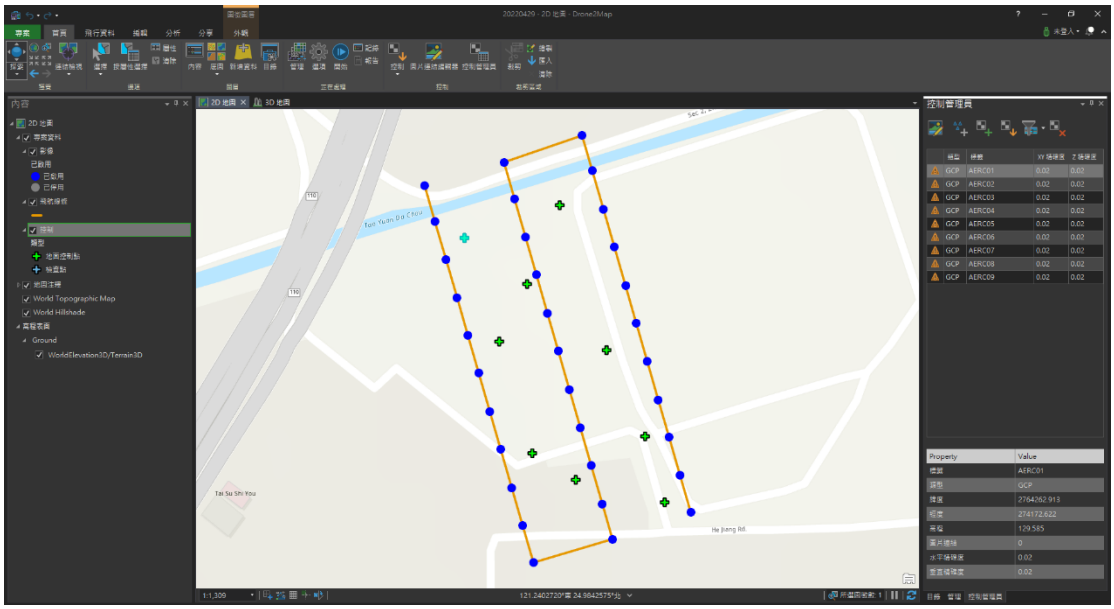


圖 5-4 Drone2MAP 導入空拍機影像與航線軌跡



圖 5-5　將於農工中心所拍攝影片進行正射影像之拼接成果



圖 5-6 Bentley Context Capture 軟體介面(水土保持局局內軟體授權)

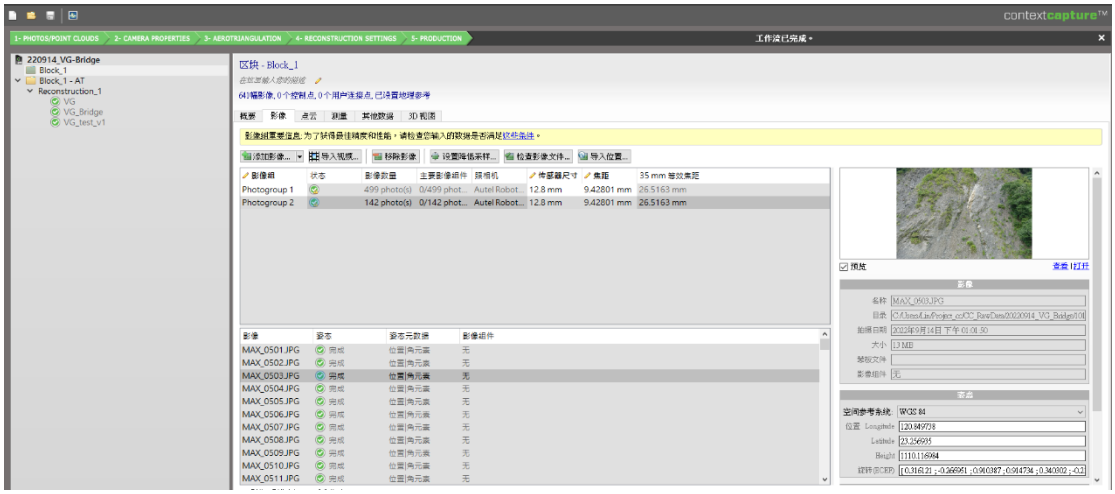


圖 5-7 導入空拍機影像，讀取 GPS 及俯仰角參數

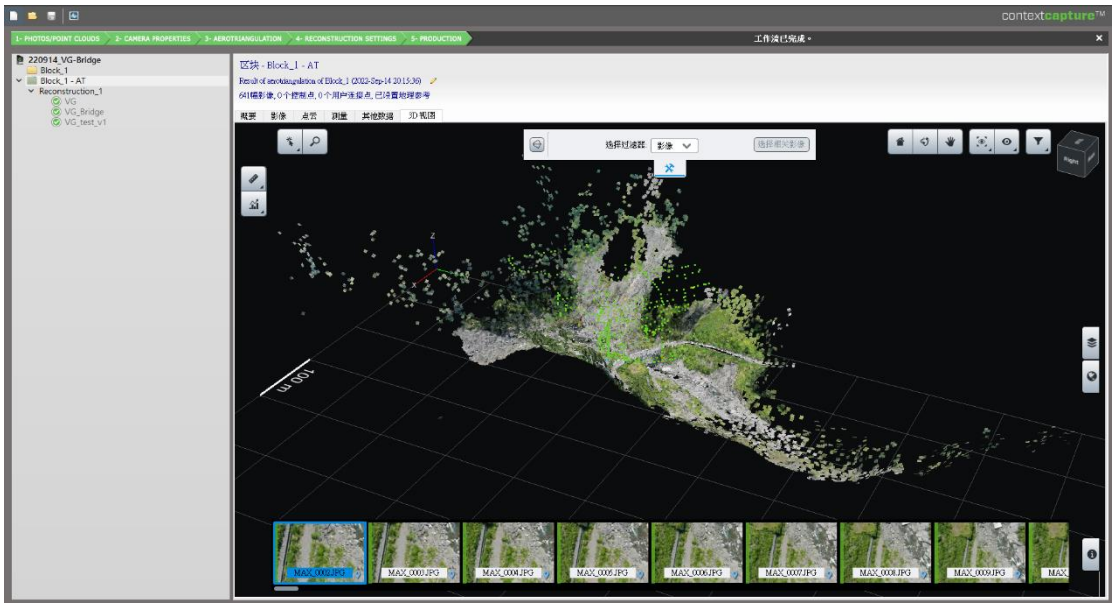


圖 5-8　由軟體進行特徵點對齊與空中三角平差

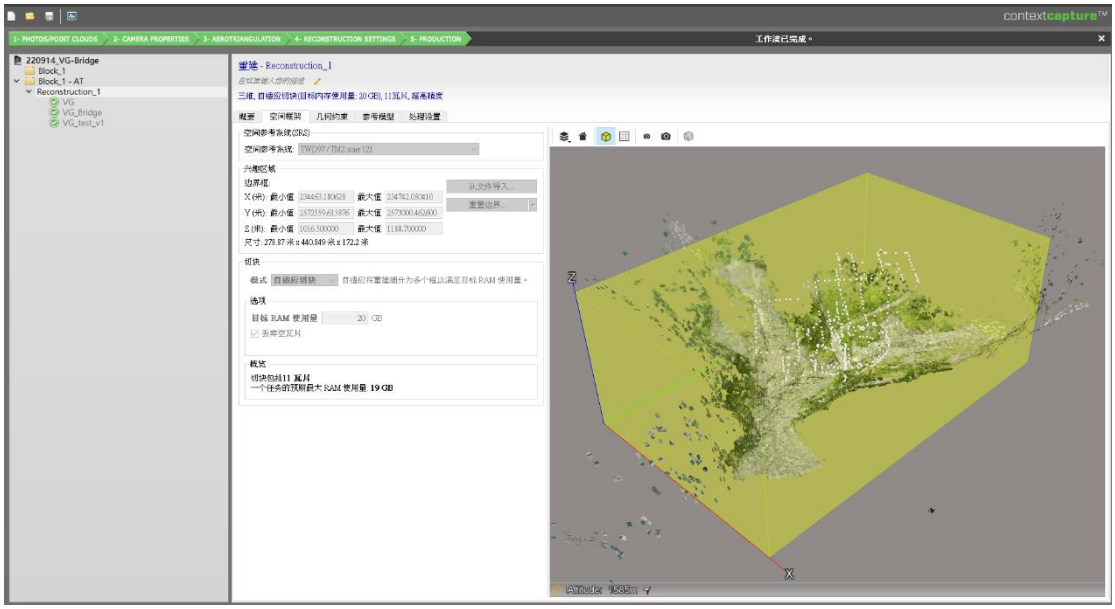


圖 5-9　進行數值地形產製，設定坐標系統、高程、範圍、解析度

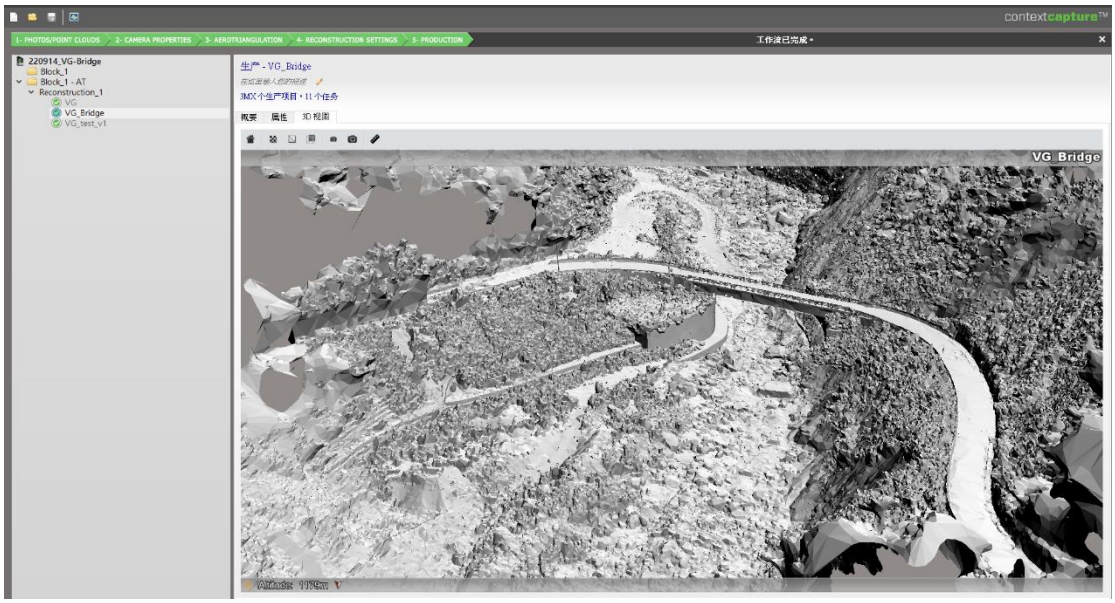


圖 5-10 完成之三角網格模型



圖 5-11　產製正射影像成果

(三) VR 模組訓練

水土保持局過往已建置相關之 VR 訓練模組 (圖 5-12)，計畫成果包含勞安、現勘、調查、體驗模組，藉由硬體運算效能的進步，相對以往受限於硬體環境與搬運問題，以 VR 設備、筆記型電腦搭配適合的教育訓練主題，除可提升設備及訓練模組機動性外，也可活化既有計畫成果。

本 (111) 年度也利用水土保持局所建置的 VR 模組協助局內同仁完成訓練及實境體驗 (圖 5-13)，並協助台南分局之勞安教育訓練現場的操作支援 (圖 5-14 及圖 5-15)，除架設 VR 設備外，同時與分局同仁討論此設備之其他加值應用想法，並納入未來精進方向。



圖 5-12 vive 設備



圖 5-13　VIVE 搭配筆記型電腦進行內部訓練



圖 5-14　支援臺南分局勞安教育訓練



圖 5-15 分局與現場人員操作 VR 模組

二、 評估與建議

參考國內外無人飛行載具相關技術人才養成，從硬體養護、技術培訓、現場支援、成果加值等組織架構，以及國內防救災業務推動、無人飛行載具法規演進等現況，建議如下：

(一) 持續配合水土保持局推動無人飛行載具操作與資料加值培訓，並擴大訓練及交流對象至水土保持領域相關業務人員，使無人飛行載具操作人員不僅限於局內。接著，整合水土保持相關各單位之航拍資料，以符合主管機關之角色。

(二) 強化水土保持局內各系統整合及應用，如 BigGIS 圖台、UAV 成果資料庫及歷史影像平台等，並視資料機敏性及資安等條件許可下，開放於各機關上傳自單位資料或相關的資料索取，以達到資料共享及互惠目標。

(三) 定期調查水土保持局內需使用無人飛行載具之應用業務人員，並提供教育訓練等實務練習。同時，持續追蹤已完成教育訓練學員考證情形，並予以相關設備及技術之協助，完善機關內無人飛行載具操作實戰能力之具備。

第二節　統合多元圖資與三維建模技術

無人飛行載具拍攝成果，結合攝影測量技術 (Structure from Motion, SfM) 重建數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 已普遍應用於調查記錄、防災應變、研究模擬等面向，並配合目前飛航法規，在局內輔助業務流程上已有完整之流程架構 (如圖 5-16)。

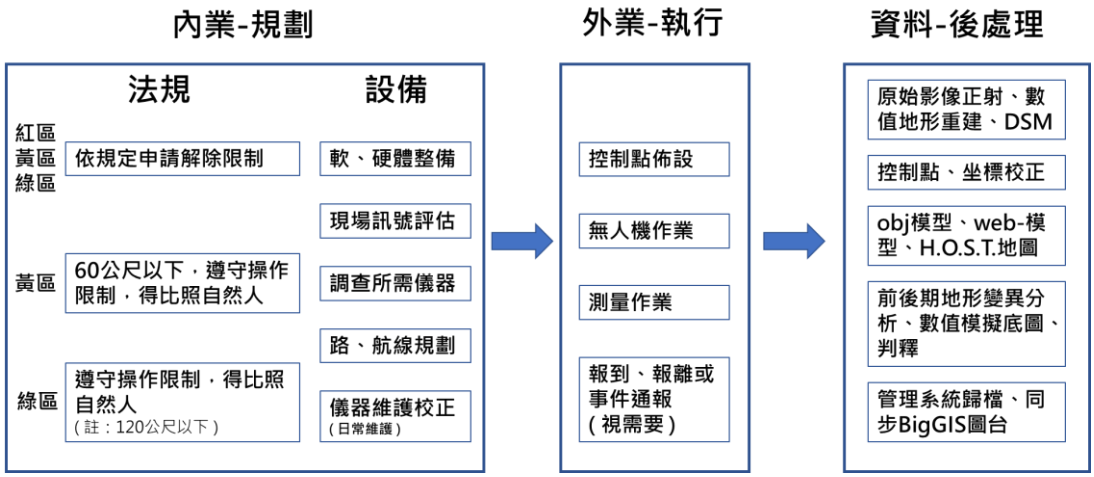


圖 5-16 無人飛行載具輔助業務流程圖

而廣泛應用的同時，也面臨到兩個主要議題，攝影測量誤差平差，以及無人飛行載具鏡頭死角資料缺乏。為使無人飛行載具 2D 與 3D 成果能擴大應用，以測量輔助、提高 2D 成果準確性，以及利用多角度、多資料來源去提高 3D 成果模型完整性，在現場條件、成本可行下是較為常見的做法。為瞭解無人飛行載具原始 GPS 坐標與測量校正後差異，以及不同資料來源與鏡頭角度之融合建模差異，本次應用兩個案例進行評估。

拍攝任務一，坐標校正與比較，以南投縣九九峰剛完工之連續鋼管壩為目標，配合法規空域設計手動航線，以 120 m、80 m 及 40 m 航高互相重疊正射攝影，並針對構造物主體進行環繞傾斜攝影，搭配

地面 5 個測量控制點與 6 個驗證點進行比較。無人飛行載具 GPS 初始姿態不使用控制點校正，以 WGS84 坐標系重建模型海拔高程(MSL, Mean Sea Level，重力等勢平均海平面)，對比控制點使用臺灣 TWD97 之 e-GNSS [2021]坐標框架正高系統高程，原始 GPS 模型海拔高與 e-GNSS 正高差約為 2 公尺內；模型經控制點約束後之正高，驗證點高程與實測 e-GNSS 高差約為 17 cm 內 (若扣除界樁之高程差，高差分布為 8 cm 內)。另，本計畫為三年期之第一期計畫，因此以此剛完工之連續鋼管壩三維模型為建置目標，將可提供未來第二期及第三期的三維建模參照，以此探討土砂堆積變化，達到特定地區或特定人工構造物之多期觀測。同時，亦作為交互比對相關土砂數值模擬程式於模型內的土砂運動情形之基礎現地資料，以此強化局內估算土砂體積變化及模擬土砂運移能力，以期更能掌握不安定土砂的影響潛勢。

拍攝任務二，多來源圖資融合，以惠蓀林場觀景台特徵及告示牌反光材質為目標，規劃無人飛行載具最少航拍數量與航線，以兩層環繞高度重疊與特徵連結軌道，限制於 200 張內，外加結合地面手機拍攝，並以 APP 寫入坐標之照片詮釋資料交換格式 (Exchangeable image file format, Exif)，導入 Context Capture 軟體進行 SfM 重建模型，成果可克服反光材質、立面死角，提升模型與現場重建之完整性。

一、 無人飛行載具建模案例一-九九峰森林步道園區

本計畫為持續精進無人飛行載具的應用，及掌握無人飛行載具原始 GPS 結果與控制點校正差異，規劃無人飛行載具拍攝任務與控制點測量。於 111 年 8 月 19 日前往南投縣草屯鎮九九峰森林步道園區之剛完工之新構連續鋼管防砂壩進行三維模型建置。此次現地調查時間為 19 日上午 (避開中午可能對 e-GNSS 的電離層干擾)，進行 e-GNSS 測量、無人載具空拍及構造物模型建置等三項。以下就外調儀器、UAV 拍攝任務、構造物模型建置方法、與控制點比較說明如下。

(一) 外業調查儀器

調查儀器包括：Autel EVO II PRO、Trimble R6、腳架、航測標等外業調查設備 (表 5-3)。各測量儀器規格之性能諸元如

表 5-4 及表 5-5 所示。

表 5-3 外業調查設備

設備名稱	功能	外觀
Autel EVO II PRO	執行 自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪	
Trimble R6 Model 4	於現勘測繪時進行坐標與高程校準 e-GNSS	

設備名稱	功能	外觀
碳纖維支架 &雙叉腳架	輔助 EGNSS 相關儀器進行現場定位固定用	
TDC600	輔助現場進行現勘紀錄，結合 GPS 系統輔助地面測繪與建模	
航測標 (地面控制點)	現地觀測	

表 5-4 Autel EVO II PRO 規格性能諸元

飛行器		
重量（含電池及槳）	1191 g	
軸距	397 mm	
最大上升速度	運動模式：8 m/s	
最大下降速度	運動模式：4 m/s	
最大水平飛行速度	運動模式：20 km/h	
最大起飛海拔高度	7000 m	
最大可承受風速	8 級風(蒲福風級，中風速 17.2-20.7 m/s)	
最大飛行時間	約 35 分鐘	
工作環境溫度	-10℃至 40℃	
衛星定位模組	GPS/GLONASS 雙模	
GPS 懸停精度	垂直	±0.1 m（正常運行視覺定位）

		±0.5 m（正常運作 GPS 定位）
	水平	±0.3 m（正常運行視覺定位）
		±1.5 m（正常運作 GPS 定位）
相機		
影像感測器	1 英寸 CMOS	
	有效像素 2000 萬	
鏡頭	FOV 82° 等效焦距：28.6 mm	
	f/2.8 - f/11 帶自動對焦（對焦距離 1 m - 無窮遠）	
ISO 範圍	影片：100-6400（自動）	
	照片：100-12800（自動）	
快門速度	拍照模式：1/8000~8s 其他：1/8000~1/幀率	
雲台		
穩定系統	3-軸含平移(Pan)、俯仰(Tilt)、橫滾(Roll)	
可控轉動範圍	俯仰角（tilt）：-90°至+30°；平移(Pan)：-90°至+90°	
最大控制轉速	俯仰（tilt）：300°/秒	
角度控制範圍	±0.005°	
感知系統		
感測系統類型	全向感測系統(12 個光學感知、2 個超音波感知)	
向前	精確測量範圍：0.5-18 m	
	有效感應 速度：<12 米/秒	
	視角：水準：60°，垂直： 80°	
向後	精確測量範圍：0.5-16 m	
	有效感應 速度：<12 米/秒	
	視角：水準：60°，垂直： 80°	
向上	精確測量範圍：0.5-10 m	
	有效感應 速度：<5 米/秒	
	視角：水準：65°，垂直： 104°	
向下	精確測量範圍：0.5-10 m	
	有效感應 速度：<5 米/秒	
	視角：水準：100°，垂直： 80°	
左和右	精確測量範圍：0.5-10 m	
	有效感應 速度：<5 米/秒	
	視角：水準：65°，垂直： 104°	
操作環境	紋理/圖案地面和足夠的照明 （> 15 lux，日光燈打開的正常室內環境）	
	向上：漫反射表面，反射率高於 20%（牆壁、樹、人等）	
	向下：紋理/圖案地面和充足的照明 （ > 15 lux，正常室內環境，帶日光燈）	
	反射率大於 20% 的漫反射面（牆壁、樹木、人等）	

表 5-5 Trimble R6 Model 4 移動站規格性能諸元

Code 編碼差分 GPS 定位	
水平	±0.25 m + 1 ppm RMS
垂直	±0.50 m + 1 ppm RMS
WAAS 差分定位精度	一般 < 5 m 3DRMS
靜態和快速靜態 GPS 測量	
水平	±5 mm + 0.5 ppm RMS
垂直	±5 m + 1 ppm RMS
動態測量	
水準	±10 mm + 1 ppm RMS
垂直	±20 m + 1 ppm RMS
初始化時間	一般 < 25 – 30 秒
初始化可靠性	一般 > 99.9%
硬體	
尺寸 (W × H)	19cm x 11.5cm 包括連接器
重量	1.35 kg
耐候	IPX7 防水等級，可侵入水下 1m

(二) UAV 拍攝任務

本次拍攝任務位於綠區 (圖 5-17)，為配合法規以確保飛航安全，規劃不同航高重疊、特徵點連結用軌道以及透過性壩主體環繞傾斜攝影，強化重建模型完整性。以 120 m 以下拍攝高度來說，拍攝範圍相對於 300 m、500 m 來說勢必會縮小，且增加作業時間，但相對優勢則是解析度與特徵點計算上會更佳，本次任務使用 EVO II pro 搭配三顆電池分段拍攝，無人飛行載具作業時間約 1.5 至 2 小時 (圖 5-18)。

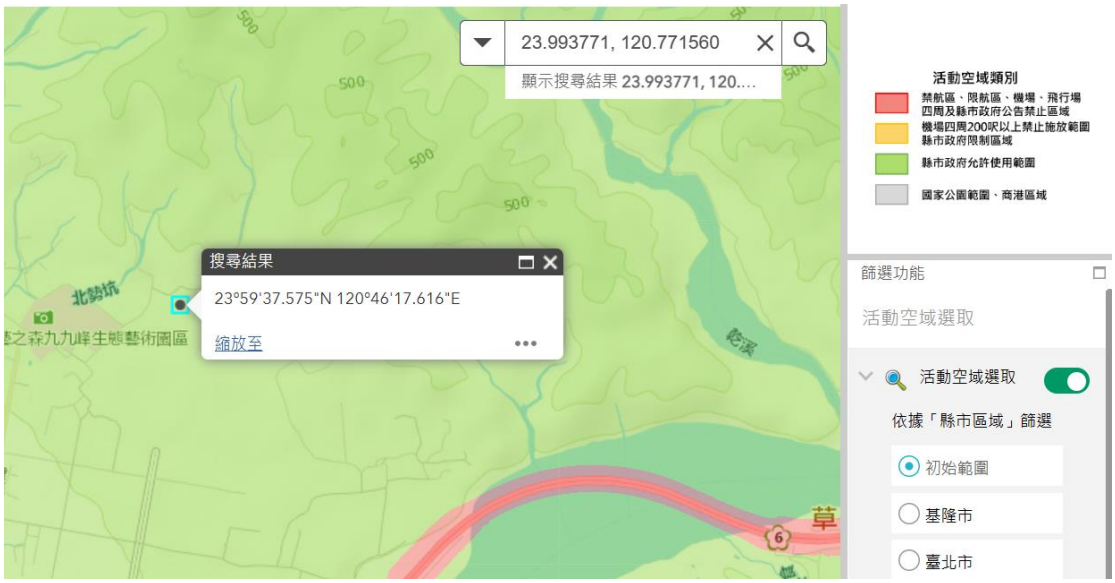


圖 5-17　拍攝任務區空域

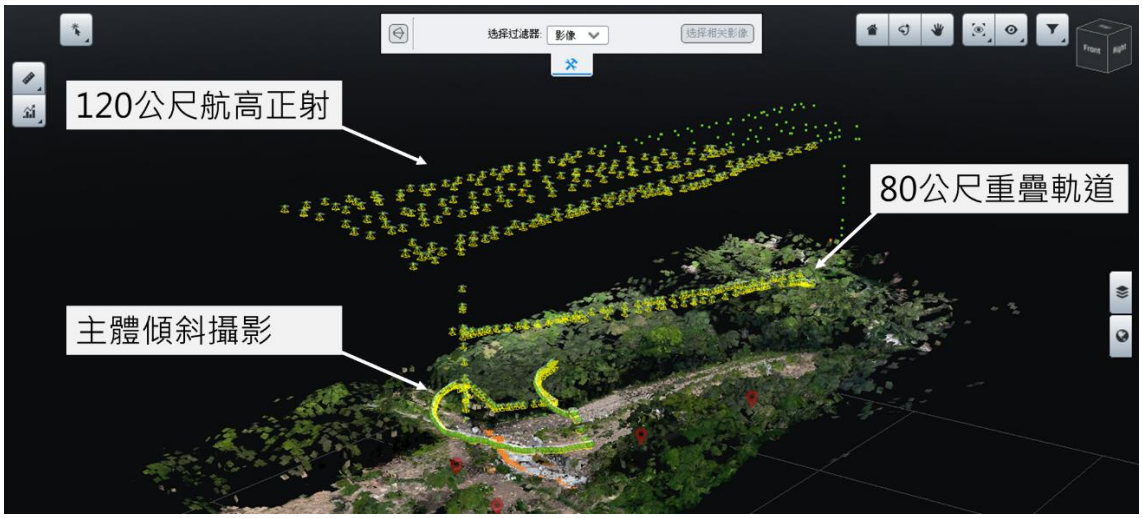


圖 5-18　無人飛行載具手動航線

為比較無人飛行載具 GPS 定位坐標及 e-GNSS 測量坐標差異，進行現地控制點測量 (圖 5-19、圖 5-20 及圖 5-21)，並包含驗證用點位 (如表 5-6)，現場操作依序為，控制點佈標>無人飛行載具航拍任務>控制點測量、驗證點測量>確認無人飛行載具航拍檔案完整性>確認測量檔案完整性>器材撤收。



圖 5-19　現地 e-GNSS 測量 (控制點-3)



圖 5-20　現地 e-GNSS 測量 (控制點-1)



圖 5-21　現地 e-GNSS 測量 (驗證-2)

表 5-6 e-GNSS 調查成果

點位名稱	TWD97_Y	TWD97_X	EL (高程，公尺)	備註
控制點-1	2654284.43	226654.82	245.54	
控制點-2	2654246.92	226729.50	246.66	
控制點-3	2654262.68	226693.93	246.75	
控制點-4	2654332.41	226709.35	256.23	
控制點-5	2654379.79	226730.95	262.66	
驗證-1	2654248.58	226730.33	246.51	界樁
驗證-2	2654365.57	226750.18	258.19	鋼管壩腳
驗證-3	2654337.40	226717.53	252.71	構造邊緣
驗證-4	2654329.52	226720.56	251.75	鋼管壩上緣
驗證-5	2654326.82	226725.84	251.72	鋼管壩上緣 2

(三) 正射影像、模型與控制點建置

無人飛行載具拍攝成果及測量成果，應用 ContextCapture 進行模型重建，以便於後續相關應用 (圖 5-22)。本次建模目標為評估多軌道與重點傾斜攝影所建立之模型細節，原始無人飛行載具 GPS 資料與其坐標框架海拔高度，與既有臺灣區域坐標框架 e-GNSS 正高高度差異，還有控制點重建模型後，數值高程與測量高程之差異程度。

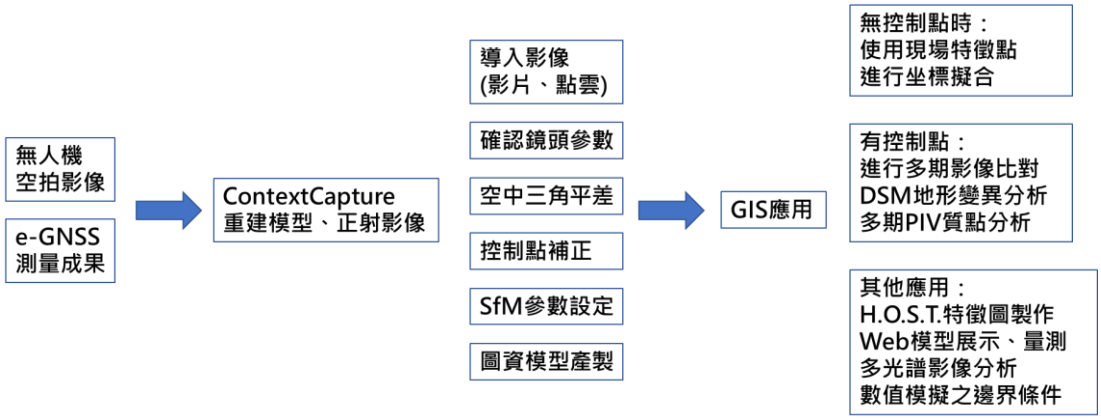


圖 5-22 資料後處理、應用流程圖

進行模型重建時，需先將原始照片導入 ContextCapture，讀入影像姿態、焦距等資料，藉由 GPS 資料進行空中攝影測量，並對各影像之特徵點進行稀疏點雲計算與對應，得出近似模型，此階段可視任務需要，導入單一影像來源如單一空拍機影像，或導入影片，進行影片幀數設定，將其裁切後重建，除此之外也能與空載點雲資料、地基點雲資料進行對應，本案例使用單一空拍機影像進行處理。初步讀取資料後，系統將呈現影像軌跡、角度與各相對位置，方便比對影像及控制點位等資料 (圖 5-23)，需先設定坐標基準平面，由於無人飛行載具國際通用規格使用 GPS 信號，其測量所得之高程，如無特別計算，訊號為 WGS84 坐標框架之橢球高度，在此須先行設定，若設定為海平面高，系統會使用 WGS84 框架中，以地球重力模型 EGM96 所推導的平均海平面高度 (重力等勢平均海平面 (Mean Sea Level, MSL))，設定錯誤將導致系統換算異常。

原始資料經設定橢球高度後，進行攝影測量中所需要的空中三角平差，將運用上述設定之鏡頭、坐標、姿態角、特徵點等參數進行模型演算，期間約為 0.5~3 小時不等，完成後可得一模型草圖 (圖 5-24)，

以此進行後續三角網格模型重建參數的選定 (圖 5-25)。

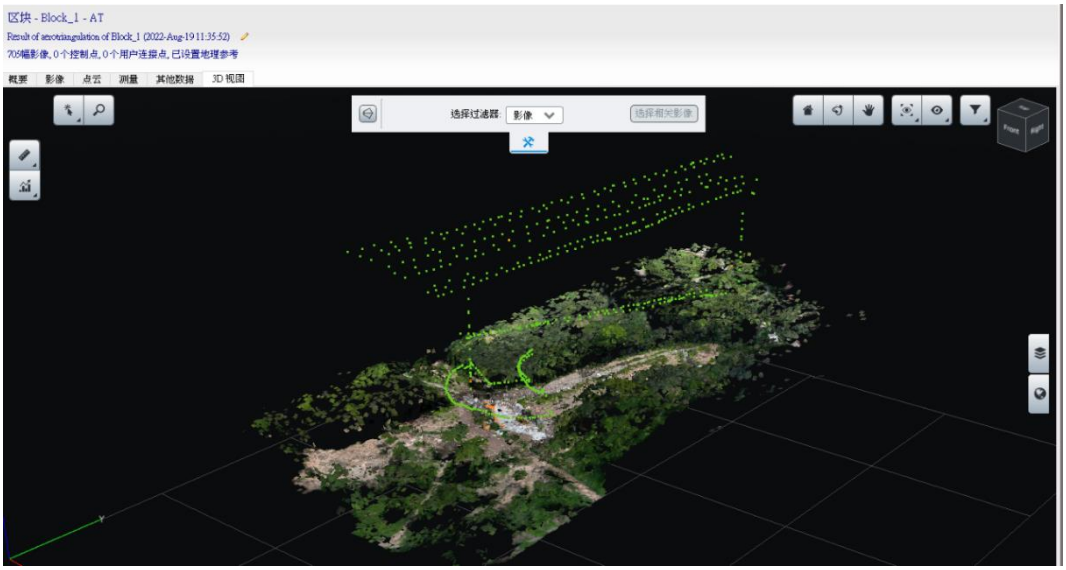


圖 5-23 無人飛行載具影像軌跡與空中三角平差

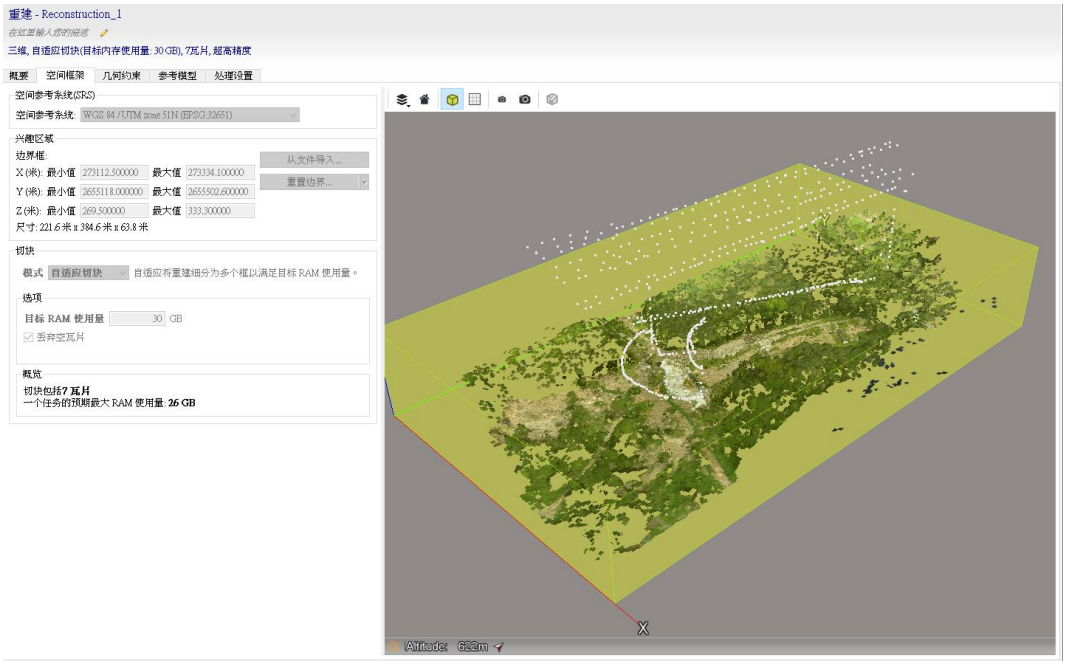


圖 5-24 模型重建範圍、參數調整

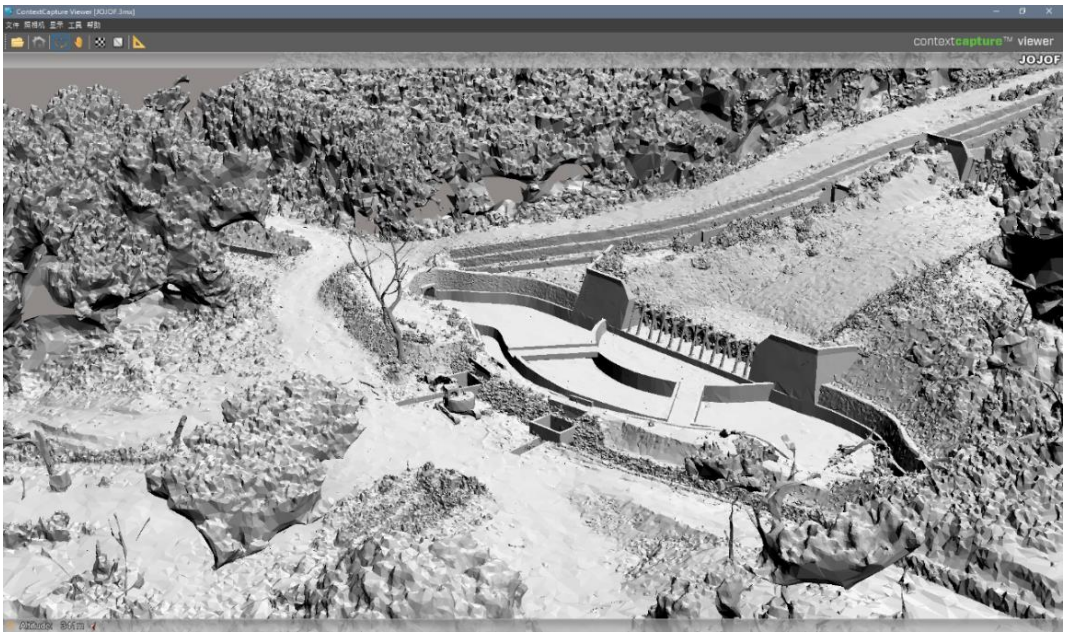
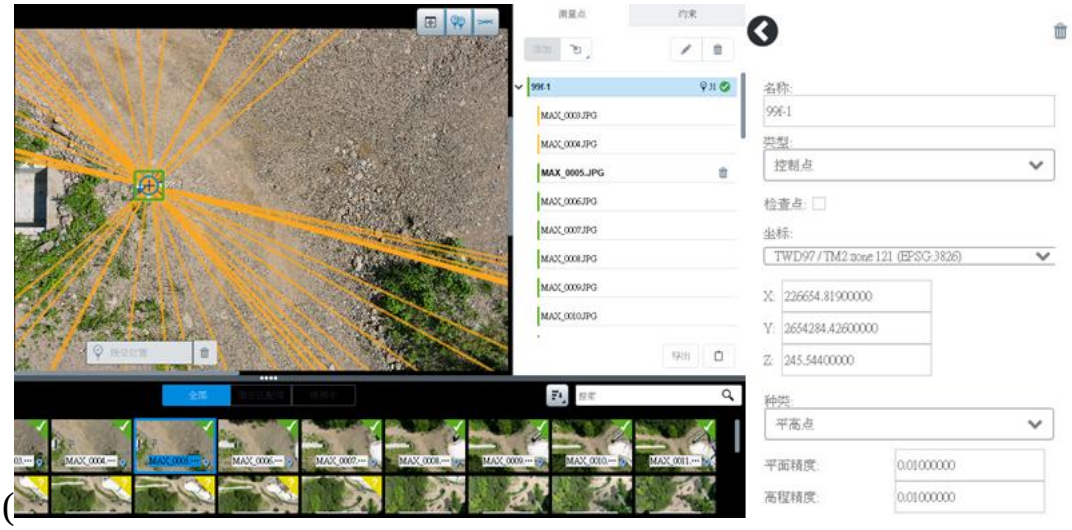


圖 5-25 三角網格模型-灰模

一般產製重建模型時，若因任務需要，可使用原始姿態坐標，只做一次空中三角平差，以快速得到等比例之地表模型進行特徵判釋。若需進一步研究或模擬應用，則須以地面控制點進行坐標約束，設定控制點坐標框架與其坐標、高程資料



(圖 5-26)，並選擇以控制點，對模型草圖進行第二次空中三角平差，此時軟體將使用原本特徵點對應的比例模型，與控制點坐標框架進行平差計算，拍攝任務若有遇到大型水體表面、農塘、海岸觀測等

水面反光造成之破圖現象，使用水面手動、自動制約計算也在此階段進行操作。平差計算完成後，即可設定後續成果格式，如直接進行快速 2.5D 成果重建，產製正射影像與地表數值模型 DSM；進行三維模型重建，可選擇 3MX、OBJ 或對應之 GIS 流通格式，並以此模型作為正射影像之貼圖、地表數值模型之計算基礎。重建之成果模型、對應之立面細節、周圍的石籠護坡工程、植生細節及施工機具形體等皆可清楚辨識，且無明顯破圖或闕漏部分 (成果如圖 5-27)。

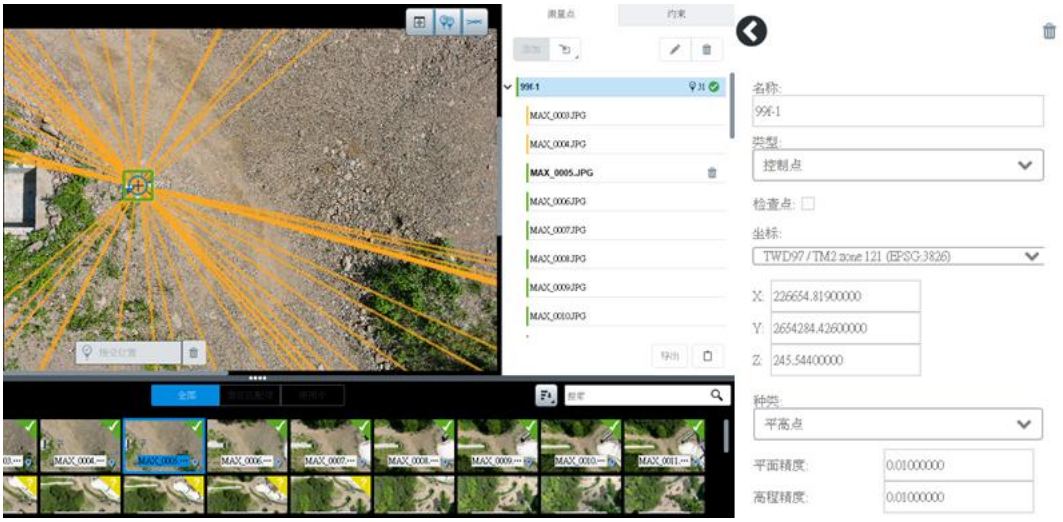


圖 5-26 設定控制點坐標框架與資料





圖 5-27 正射影像、測量點位與 3D 建模成果

重建模型完成後，為比較其坐標差異程度，以現地使用 e-GNSS 測量，RTCM 廣播即時解算之坐標框架 (如表 5-7 至表 5-9)，所得到 5 個控制點位坐標測量成果，以及模型草圖中使用 GPS 資料，未進行坐標約束的原始模型橢球高、MSL 海拔高之 SfM 攝影測量結果進行比較。並且以現地測量之另外 5 個驗證點，對比坐標約束後的數值模型正高資料，比較其約束後差異程度。

由結果可見，以測量正高與 GPS 海拔高之差異，約為 0.2~1.9 m (表 5-10)；坐標約束後，測量正高與模型正高之差異，約為-0.01~0.16 m，其中驗證點-1 為現場界樁頂點，若扣除其地形差異導致的誤差，其餘驗證點差異為 0.08 m 內 (表 5-11)。

表 5-7 e-GNSS [2021] 坐標框架定義

國際坐標基準框架		ITRF94	
坐標定義起始時刻		2021 年 1 月 1 日 12:00	
固定站名稱	X-COORDS	Y-COORDS	Z-COORDS
測繪中心(LSB0)	-2967207.333 m	5010439.297 m	2593842.976 m
速度量	Vel_N	Vel_E	Vel_U
LSB0	-0.0042 m/yr	0.0000 m/yr	-0.0022 m/yr

來源：內政部國土測繪中心

表 5-8 e-GNSS 基準資料 (TDC600 系統產製)

坐標系統 (任務)	
系統	Taiwan/TWD97
分帶	Taiwan Island
坐標基準	RTCM 廣播
投影	
投影	橫麥卡托投影
緯度原點	0°00'00.00000"N
經度原點	121°00'00.00000"E
假北(縱軸平移)	0.000
假東(橫軸平移)	250000.00
比例	0.999900
南方位角(網格)	否
網格坐標	東-北方向增加
橢球	半長軸: 6378137.000 扁率: 298.25722014
當地坐標系統	
類型	網格
基準轉換	
類型	
網格基準檔案	TWD97_H-0-022N0-026N0-119E7-121E7-NBAA-E7C5

表 5-9 基站點參數

基準轉換									
類型									
網格基準檔案		TWD97_H-0-022N0-026N0-119E7-121E7-NBAA-E7C5							
點	PRS9961 8563415	緯度	24°02' 35.09472"N	經度	120°55' 58.09353"E	橢球高	740.194	編碼	
基站點									
點	PRS99618 563415	天線高	0.000	類型	改正				
初始化事件: 已完成									
GPS 週	2223	秒	440273	初始化類型	On the fly	測量類型	即時	初始化計算	1
GNSS 接收器									
接收器類型						R6-4			
序號						5523404744			
韌體版本						5.15			
天線型號						R6-4 Internal			
測量方式						天線底座			

表 5-10 對比無人飛行載具 GPS 與 e-GNSS 控制點高程差

控制點名稱	TWD97_Y	TWD97_X	e-GNSS[2021] TWD97 正高	WGS84 EGM96	WGS84	差異量 (m)
			EL(m)	MSL(m)	橢球高(m)	MSL-EL
控制點-1	2654284.43	226654.82	**245.54**	**243.80**	**265.49**	**-1.75**
控制點-2	2654246.92	226729.50	**246.66**	**246.46**	**268.16**	**-0.20**
控制點-3	2654262.68	226693.93	**246.75**	**245.58**	**267.28**	**-1.17**
控制點-4	2654332.41	226709.35	**256.23**	**254.33**	**276.03**	**-1.90**
控制點-5	2654379.79	226730.95	**262.66**	**262.07**	**283.77**	**-0.59**

表 5-11 對比實測 e-GNSS 高程與控制點校正後數值地形高程

驗證點名稱	TWD97_Y	TWD97_X	實測 EL (正高，m)	模型校正後 EL (正高，m)	差異量 (m)
驗證-1	2654248.58	226730.33	246.51	246.35	-0.16
驗證-2	2654365.57	226750.18	258.19	258.15	-0.04
驗證-3	2654337.40	226717.53	252.71	252.72	0.01
驗證-4	2654329.52	226720.56	251.75	251.73	-0.02
驗證-5	2654326.82	226725.84	251.72	251.65	-0.07

二、 無人飛行載具建模案例二-惠蓀林場觀景台

山區構造物、崩塌地、土砂災害發生地區型態多變，現場開闊度與交通方式各異，當遭遇狹窄空間、地形限制、日照與表面材質影響、構造物座落位置、現地高差過大等情況，無人飛行載具作業空間將受限制與影響，為提升無人飛行載具重建模型之應用彈性，規劃狹窄區務作業與多來源影像建模。此次現地調查時間為 111 年 9 月 29 日上午，進行手機影像拍攝、無人載具空拍及構造物模型建置。以下就手機資料處理、UAV 拍攝任務、構造物模型建置，方法說明如下。

(一) 手機影像處理

本次案例使用無人飛行載具與手機拍攝不同影像來源，手機規格參數如表 6-12，拍攝數量為無人飛行載具 183 張 (圖 5-28)、手機 125 張 (圖 5-29)，手機端使用 GeoTag 應用程式，將 GPS 資料寫入手機影像 (圖 5-30)，便於後續融合。而受限於影像 Exif 高度欄位以海拔高單一資料標籤 (表 5-13)，後續融合使用無人飛行載具 GPS 坐標高程，並設定為橢球高，進行後續計算。

表 5-12 地面影像來源 (手機規格參數)

型號	SAMSUNG Galaxy S22 Ultra
前鏡頭	4,000 萬畫素鏡頭、F2.2 光圈、80 度廣角
後鏡頭	超廣角：1,200 萬畫素、F2.2 光圈、120 度廣角 廣角：1 億 800 萬畫素、F1.8 光圈、85 度廣角 遠距 1：1,000 萬畫素、F2.4 光圈、36 度廣角、3 倍光學變焦 遠距 2：1,000 萬畫素、F4.9 光圈、36 度廣角、10 倍光學變焦 雷射自動對焦
變焦功能	3X 混合光學變焦（遠距 1） 10X 混合光學變焦（遠距 2） 100X 超高倍變焦

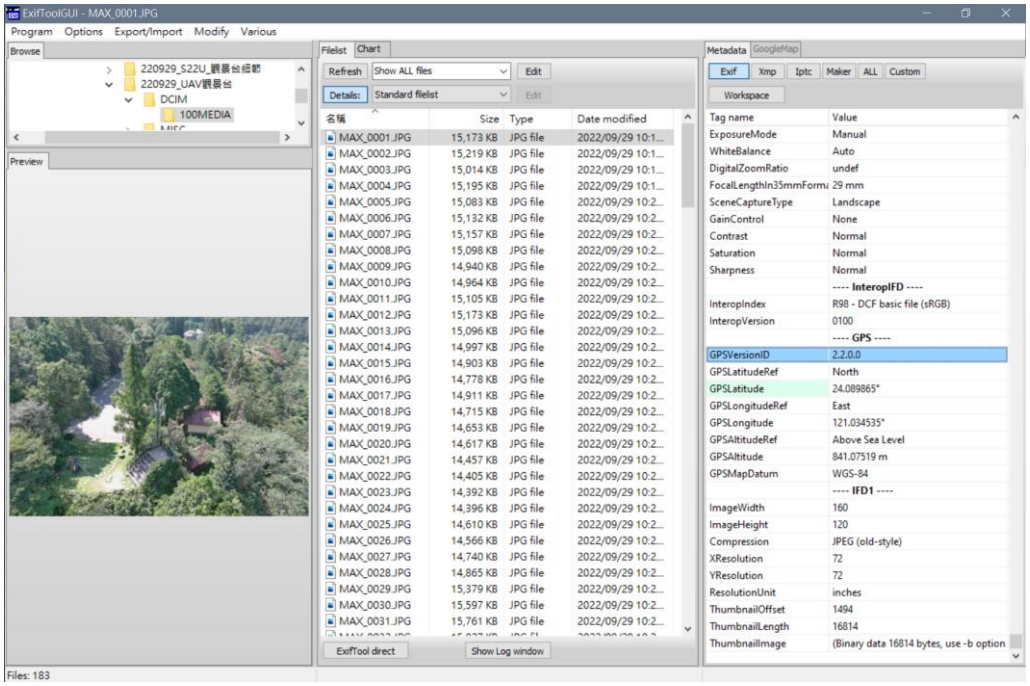


圖 5-28 無人飛行載具拍攝資料與 Exif 參數

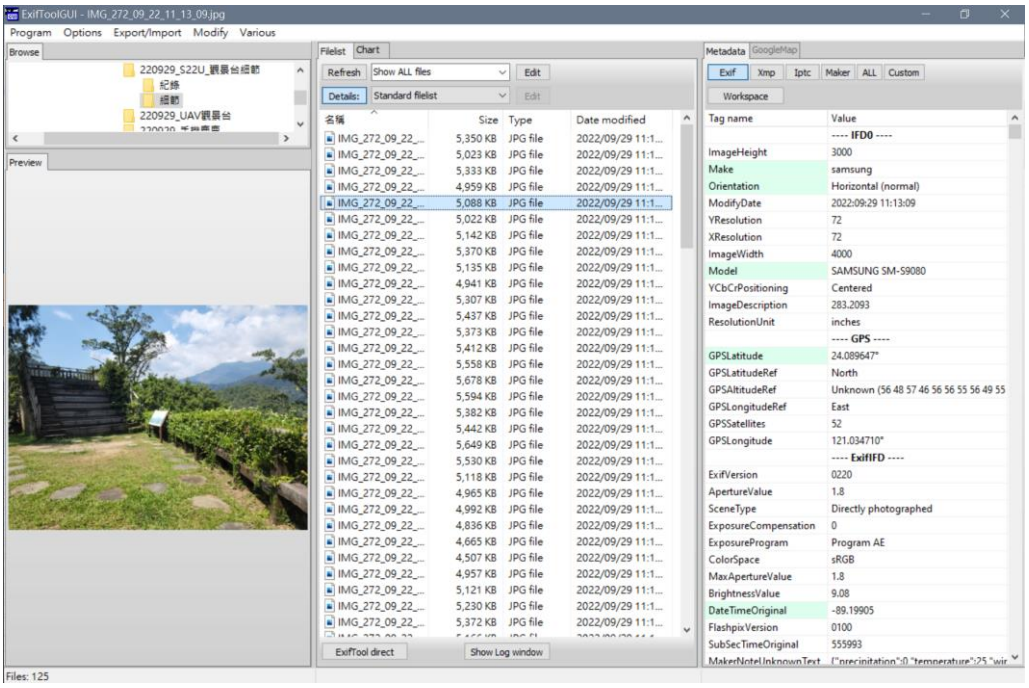


圖 5-29 手機拍攝資料與 Exif 參數



圖 5-30 手機端寫入坐標用 APP

表 5-13 Exif 相關之 GPS 標籤

Tag ID	Tag Name	Writable	Values / Notes
0x0000	GPSVersionID	int8u[4]:	
0x0001	GPSLatitudeRef	string[2]	（標記 0x0001-0x0006 用於根據 MWG 2.0 定位鏡頭。ExifTool 在編寫 GPSLatitudeRef 時也會接受一個數位，正為北 緯度或負數表示南，或包含 N、北、S 或南的字串）'N' = 北'S' = 南
0x0002	GPSLatitude	rational64u[3]	
0x0003	GPSLongitudeRef	string[2]	（ExifTool 在寫入此標籤時也會接受一個數位，正向東 經度或負數表示西，或包含 E、東、W 或西的字串）“E” = 東 'W' = 西
0x0004	GPSLongitude	rational64u[3]	
0x0005	**GPSAltitudeRef**	**int8u**	**（ExifTool 在寫入此標籤時也會接受數位，負數 數位表示低於海平面）0 = 海平面以上 1 = 低於海平面**
0x0006	GPSAltitude	rational64u	
0x0007	GPSTimeStamp	rational64u[3]	（全球定位的 UTC 時間。寫作時，如果存在日期，則刪除日期，並且 如果時間包含時區，則將其調整為 UTC）
0x0008	GPSSatellites	string	
0x0009	GPSStatus	string[2]	A' = Measurement Active 'V' = Measurement Void
0x000a	GPSMeasureMode	string[2]	2 = 二維測量 3 = 三維測量
0x000b	GPSDOP	rational64u	

(二) UAV 拍攝任務

本次拍攝任務位於綠區 (圖 5-31)，為配合法規以確保飛航安全，規劃融合無人飛行載具影像與手機影像，強化地表立面材質、透空物件。規劃飛行任務測試以限制數量影像進行模型重建，目標訂為 200 張影像內，航線規劃上設計 3 條環繞軌道，以觀景台為中心，並以遠方主體、近景主體、低空軌道、手機融合用特徵軌道進行拍攝，共三條環繞路線，以及一條連接至地面手機拍攝位置的路線 (圖 5-32 及圖 5-33)。



圖 5-31 惠蓀林場任務區域

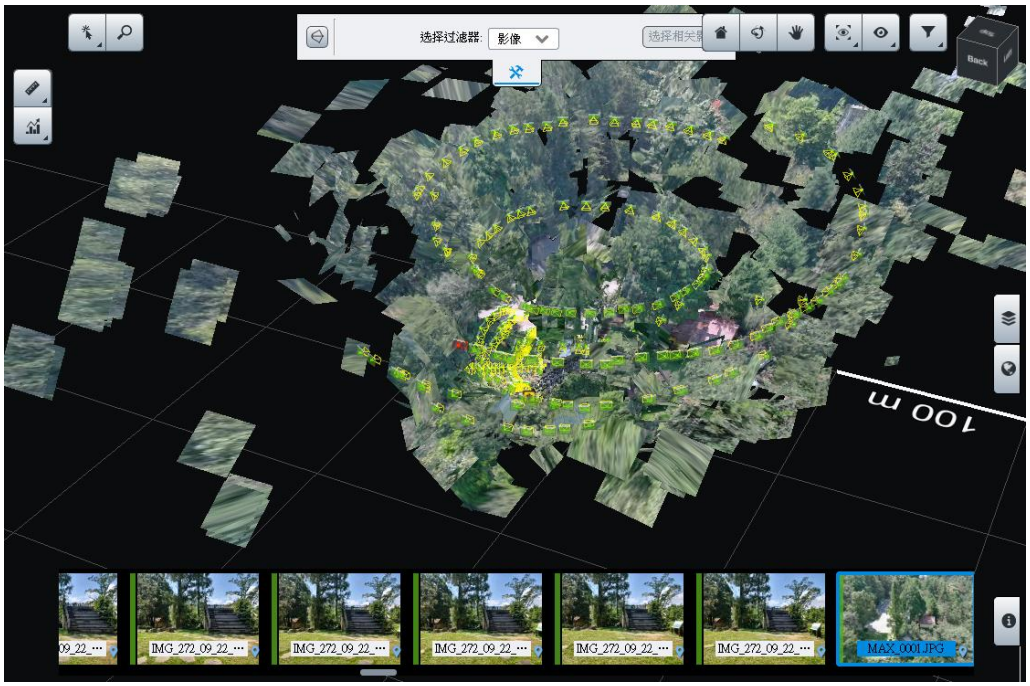


圖 5-32 拍攝任務環形軌道與地面軌道



圖 5-33 現場低空作業及地面手機拍攝

(三) 構造物模型建置

本次案例使用不同影像來源，導入影像過程，將無人飛行載具影像與手機影像分別做為不同圖片組 (Photogroup) 進行導入，有助於區隔鏡頭參數、色彩、主體等誤差，再藉由特徵點進行融合，同時 Context Capture 軟體為完整運算正射影像坐標，需同時滿足平面與高程數值，但手機影像尚未有足夠精確之高程數值可供參考的情況下 (圖 5-34 及圖 5-35)，利用影像分組，以及無人飛行載具坐標帶有完整資料的情況，可藉由空中三角平差之方式，將高程資料導入融合模型 (圖 5-36)。

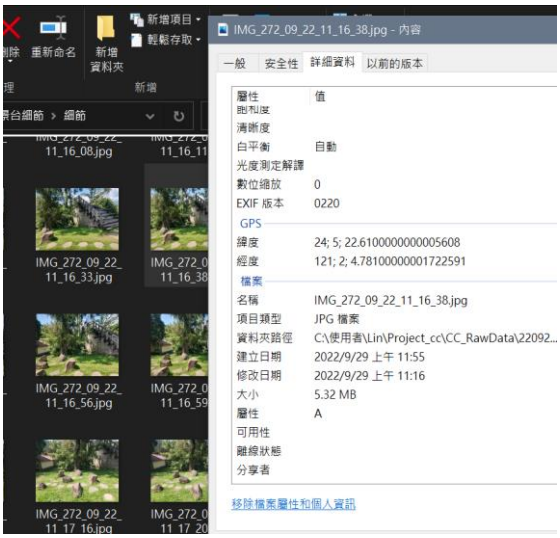


圖 5-34 手機拍攝原始資料



圖 5-35 手機影像缺乏重建用高程資料

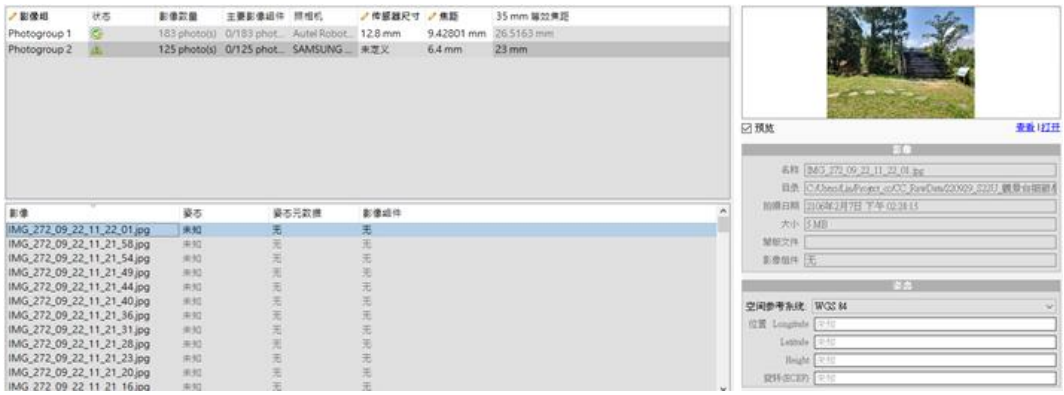


圖 5-36　進行影像組三角平差融合之結果

藉由無人飛行載具影像坐標帶高程，以及手機影像參考坐標，將兩者進行資料融合後重建模型，結合兩者角度優勢 (圖 5-37 及圖 5-38)，順利完成二種異質資料的融合與建模。成果顯示，融合後除能充分呈現材質立面，連告示牌上的 QR 碼材質也清晰可見 (圖 5-39)，使用甚至可直接用手機掃描後，連線至惠蓀林場介紹網站。

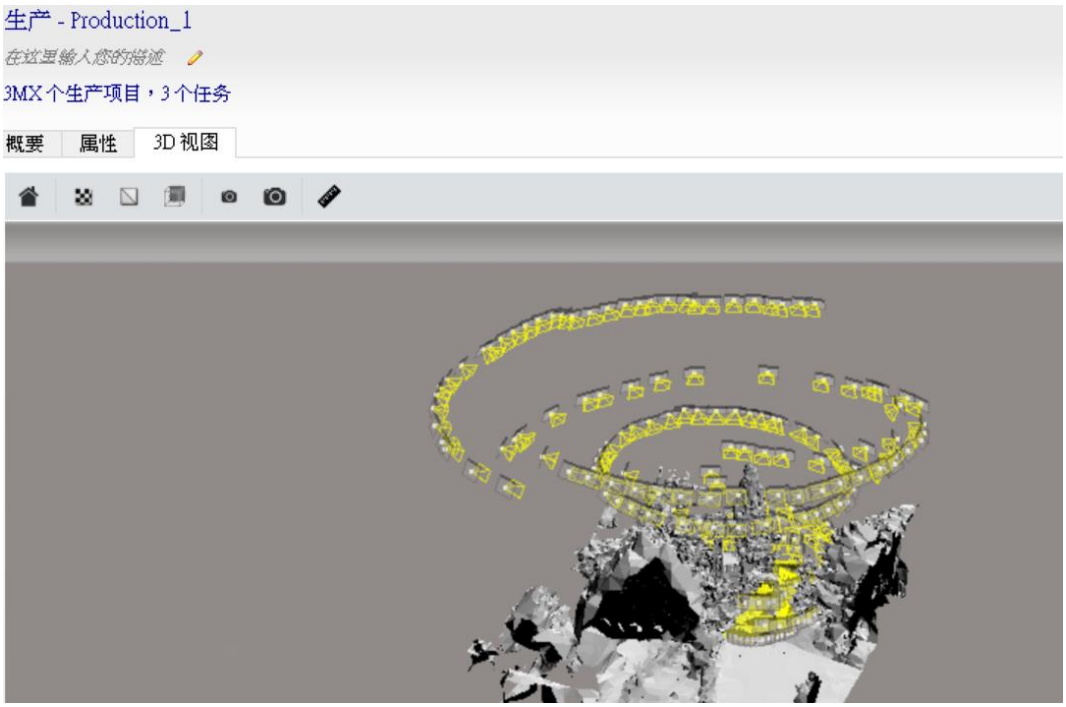


圖 5-37　無人飛行載具空中軌道與模型位置

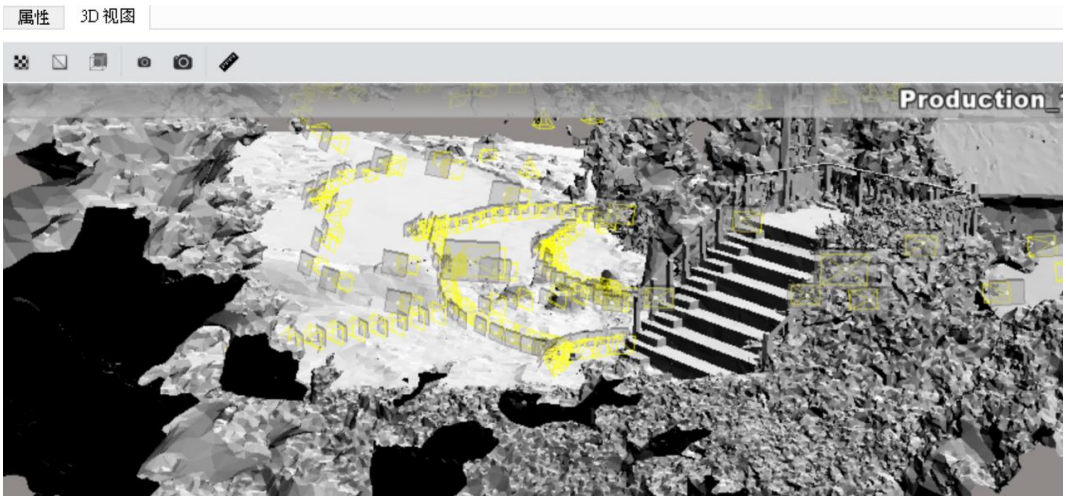


圖 5-38 手機地面軌道與模型位置



圖 5-39 建模成果的告示板 QR 碼

三、 評估與建議

(一) 案例成果評估

無人飛行載具攝影測量與模型重建技術成熟，但受限於定位系統與方式差異，建議仍需導入地面控制點進行平差，案例一模型經由控制點約束後之模型高程差於-0.01~0.16 m 內，可用於崩塌地與構造物相關評估或數值模擬之用 (圖 5-40)。未經控制點約束之模型，已具備快速判釋用、相對精度足夠之比例模型，緊急任務若無控制點之情況，則可用現場不動點之高程進行擬合。隨未來定位及測量技術的精進，將可更精確地協助測量現地建物的空間尺寸資訊，更可快速作為現地勘查人員快速調查現況使用。

無人飛行載具拍攝任務若遭遇狹窄空域或構造物材質問題，可藉由不同影像來源進行補強，案例二模型藉由輕量化設備，搭配開源工具進行模型重建 (圖 5-41)。表面材質可藉由不同鏡頭特性進行彌補，惟受限於攝影測量是以光學 2D 影像反算模型，特徵與精度受限於光學鏡頭與演算速度，部分細節與穿透植被需求上，仍不及光達點雲直接量測之成果。



圖 5-40　案例一 3D 建模成果

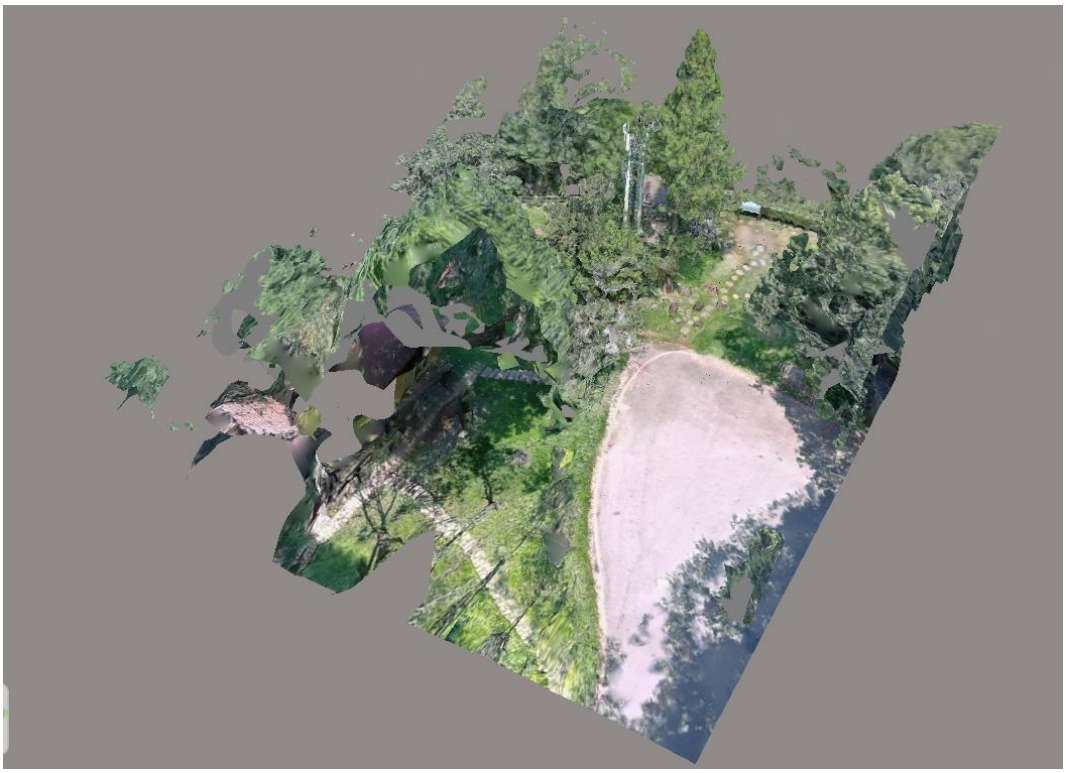


圖 5-41 案例二 3D 建模成果

(二) 三維建模技術精進建議

目前攝影測量與 SfM 技術已成熟運用，且能搭配不同測量技術去提高精度，而案例操作過程，仍遭遇了兩個問題，在於資料量增加的同時，所遇到的計算效能瓶頸，以及光達資料未能如攝影測量般普及、光達點雲資料所需要的量測器材、運算軟硬體成本等問題。目前研究上能藉由串連硬體進行算圖，達到加速產製效果，以及應用點雲資料標準格式如 e57、las、laz、ply 等方式進行資料轉換與融合，建議未來可評估相關應用與成本可行性。

第六章 結論與建議

第一節　結論

一、　歷年委辦及研究計畫盤點

去 (110) 年相關委辦計畫總計為 222 件，本 (111) 年度盤點篩選排除可能包含基礎資料與後續加值應用之案件 (農村建設組、秘書室、國會小組等相關計畫)，共新增盤點 143 件。本計畫自 97 年累計至 110 年共計盤點 2,152 件之委辦及研究計畫成果，產出成果相當豐碩，包含空間資訊、現場與監測資料、集水區資料、數值模擬、加值應用以及水保出版品及教育訓練類。

(一) 高精度之地基雷達 (GB-SAR) 具有非接觸式、面狀連續監測且不受天候影響之優點，未來可應用於坡面不安定土砂監測

目前以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料大面積檢視山坡地歷年之變化過程與判釋崩塌地現況之技術已相當成熟，也是目前水土保持局仰賴的防災判釋與治理參考依據。然而，相較傳統的衛星影像或航照而言，高精度之地基雷達 (GB-SAR) 監測技術的發展，具有高機動性、非接觸式、可連續監測、量測範圍廣及較不受天氣影響精度等優勢，未來可應用於坡面不安定土砂監測，提供相關防災決策資訊。

(二) 整合多種測量儀器或載具可提升現場調查資訊之效率及完整性

111 年度水保局相關計畫已嘗試使用多種測量儀器或載具進行現地調查，並快速獲致重要資訊。例如利用遙控船結合聲波測深儀，量測農塘或堰塞湖整體深度與蓄水體積；利用透地雷達了解築壩式農塘壩縫內土體結構情形；利用日本管式水聲計估算土砂運移量等。後續可嘗試其它新興技術，並整合不同型式載具，配合現場情境以提升現

地調查之效率及精度。

(三) 適時選用不同土砂及水文水理數值模式評估土砂災害

本計畫整理了各委辦計畫常用數值模擬模式，如一維及二維水文水理模式之 CCHE-1D、CCHE-2D 模式可模擬河道土砂沖淤變化、RAMMS 可模擬潛在崩塌影響範圍及對重要設施影響分析、RAMMS::DF 可模擬土石流衝擊力對建築物之影響，降雨入滲模式 SEEP/W 可模擬降雨入滲變化情形。隨數值模擬技術之精進，將有助於水土保持局因應未來氣候變遷下之大規模土砂災害，並提供相對的衝擊影響評估能力。

(四) 新增土砂事件的數位展示空間與災害區的三維體驗

111 年度水保局委辦計畫在加值應用及教育訓練類，已廣泛應用 UAV 影像資料之加值應用成果等，同時亦採用數位三維科技之體感應用，讓使用者透過穿載裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間與體驗災害區現況，將水土保持教育生活化，未來此技術也可作為工程設計及規劃探討與教育訓練之用。

二、 建立不安定土砂評估方法論

(一) 評估出 55 個不安定土砂風險較高之集水區

本評估方法共匡列 55 個具極高和高不安定土砂危害風險之橋梁集水區 (風險值大於 12)，其中 52 個為省道橋梁集水區與 3 個台鐵橋梁集水區。

(二) 以荖濃溪流域為示範評估案例，研究發現唯金溪橋、明霸克露橋及大津橋 (新)，具立即的危害風險。

本 (111) 年度以荖濃溪流域為例，藉由綜合評估及現地勘查之結果顯示，本評估方法具有一定的代表性，可用於快速判斷哪座橋梁存在較大的不安定土砂危害風險，進而作為相關的因應或應變工程措施參考。於荖濃溪流域進行現勘調查後，認為有三座橋梁較具立即的危害風險，分別為唯金溪橋、明霸克露橋及大津橋 (新)。其中，唯金溪橋因上游集水區面積大 (約 2,850 ha)，且集水區內地文脆弱度高，為本評估方法中風險值最高之橋梁 (風險值為 20)。橋梁建置於唯金溪河道隘口處，該橋梁雖無橋墩建置於河道上，但因建置於該地形隘口處，與河道高程僅 11 m，通洪斷面小且可能造成河流於洪水來時束縮，認定存有風險疑慮。荖濃溪重點橋梁之明霸克露橋評估結果顯示，其風險值為 16，僅屬高風險橋梁，但仍於 110 年盧碧颱風時被沖毀。本評估方法藉由歷年衛星影像的判釋，玉穗溪上游殘坡的不安定土砂於 109 年始開始明顯滑移，然本評估方法之地文脆弱度僅使用 94 ~ 105 年的崩塌地圖資製作，導致 P 值應有低估情形，意指其應不只 3.84，進而影響本評估方法的判斷。

三、 基礎資料加值及培力專業技術

(一) 視覺化展示水土保持局技術研究發展成果

本計畫彙整水土保持局內可公開資料及政府資料開放平台，以 Tableau 進行視覺化展示「縣市政府轄管橋梁資料」及「簡易防災地圖 (線上版) 」兩主題，分享於水土保持局技術研究發展平台之視覺化成果展示頁面。其中「縣市政府轄管橋梁資料」透過視覺化的動態互動展示介面，使用者可快速掌握相關數量與空間位置之分布；而「簡易防災地圖 (線上版) 」則利用現有的政府開放資料，整合 Tableau 視覺化展示及地圖功能自動產生防災地圖的作法，可作為未來快速建置防災地圖時之參考。

(二) 辦理無人飛行載具相關之教育訓練並完成南投縣九九峰森林步道園區新構連續鋼管防砂壩之三維建模

本 (111) 年度已完成無人飛行載具相關之教育訓練，包括航照正射影像後處理軟體教學、環控 VR 模型訓練模組，並首次協力縣市政府水保領域人員與局內同仁一同辦理無人飛行載具操作考照等訓練，提升水保領域同仁技術能力。同時，持續協助局內同仁出勤或考取操作證照等需求，持續培力水土保持局同仁，以符合相關所需業務要求。

本 (111) 年度持續精進無人飛行載具的應用，於南投縣九九峰森林步道園區新構連續鋼管防砂壩進行三維建模，建置尚未有任何土砂影響之防砂構造物基礎資料。且經由控制點約束後之模型高程差於 -0.01~0.16 m 內，可供未來數值模擬或土砂堆積變化之研究，達到不安定土砂於特定地區之多期觀測，以強化局內估算土砂體積變化及模擬土砂運移能力，以期未來掌握不安定土砂的影響潛勢。本計畫結果

亦顯示，無人飛行載具拍攝任務若遭遇狹窄空域或構造物材質問題，可藉由手機等輕量化設備及搭配開源工具進行模型重建，表面材質也可藉由不同鏡頭特性進行彌補，將更有效的統合大範圍廣域空間及小範圍精細目標進行完整建構。

第二節　建議

一、　歷年研究計畫盤點成果可延續性建議

(一) 建議將計畫成果鏈結驗收機制以強化成果蒐整

本 (111) 年度針對歷年研究成果進行盤點，計畫成果產出相當豐碩，惟結果顯示有諸多計畫仍有許多項目未依照規定上傳。因此，明 (112) 年度將與主辦單位擬定未來成果上傳之稽催機制，並建立完整的審核及校閱制度。

研究成果中相關數值資料、地理圖資與開放資料，則建議由負責資訊業務及資料整合之水土保持局技術研究發展小組作為水土保持局基礎資料及地理圖資管理之窗口單位，每年每季定期召開「資料管理工作圈」會議檢討委辦計畫數值資料、地理圖資及開放資料之管理規章。

(二) 建議統一規範各計畫於研究成果撰寫時，均提出後續可再發展的方向和方法，以利於後續整理分析

歷年土砂防災技術相關盤點委辦案數量眾多，建議以水土保持局是否能持續應用此技術於實地或現況調查作為分類方向，進而提出後續可再發展的方向和方法，以利歸納相關研究方向及策略擬定。

二、 不安定土砂快速評估方法論精進建議

(一) 建議未來以已發生崩塌之崩塌地為優先研究案例，以提升評估精準

不安定土砂議題雖是本 (111) 年度研究之重點，且已透過歷年崩塌圖層來檢視地文脆弱度，然要找出坡地上不安定土砂仍屬不易，建議優先考量已發生崩塌之崩塌地 (包含新增及植生復育中的崩塌地) 進行探討，降低方法匡列時的誤判情形。本 (111) 年度僅以較具高危險潛勢的橋梁為主要評估對象，建議後續針對其上游不安定坡地，進行土石流數值模擬，模擬可能運動路徑及範圍，來比對本 (111) 年度不安定土砂評估方法的可靠性。

(二) 建議導入空載光達或衛星立體像對等技術，定期追蹤不安定土砂之量體，以利於不安定土砂量之估算

引發不安定土砂災害之條件，除地文條件外，亦需考慮誘發不安定土砂開始移動之水文等啟動條件，以及相關的土砂移動情境之數值模擬，由此可知，要提前發現並評估坡面不安定土砂的影響範圍是一項困難的工作，建議後續可從兩個方面來精進，首先是透過崩塌地調查、遙測技術及結合前後期數值地形高程來解讀坡地在時間及空間上的變異，進而評估是否為不安定土砂的區域；再者，則是透過合宜的崩塌/土石流數值模式來評估不安定土砂會在何處崩塌、滑動面深度、滑動量體。

本快速評估方法使用地文脆弱度指標僅整理 94 ~ 105 年林務局崩塌圖層，尚無 106 ~ 110 年之資料，於地貌變遷之統計尚不完整。且地文脆弱度指標僅能代表該區產出不安定土砂之潛勢，尚無法求出不安定土砂量體。如未來需精確估算不安定土砂量體，可考量導入空

載光達或衛星立體像對等技術。定期追蹤不安定土砂之量體及生產頻率，並定期依產製之圖資更新本評估方法。

由於不安定土砂災害常屬水砂及土砂同時發生之複合型災害，未來應對如時間、空間、因果及不同災害類型之各條件進行多重耦合分析，以強化水土保持局及相關單位之災害應變預警及防災規劃能力。

三、 資料跨域整合及人力培訓建議

(一) 持續整合水土保持局內各系統整合及應用，以收綜效

水土保持局內各系統如 BigGIS 圖台、UAV 成果資料庫及歷史影像平台等，並視資料機敏性及資安等條件許可下，開放予各機關上傳自單位資料或相關的資料索取，未來宜以統一相關儲存或載入格式，強化整合及應用，達到資料共享及互惠之目標。

攝影測量與 SfM 技術，仍遭遇資料量增加遇到的計算效能瓶頸限制、光達資料未如攝影測量般普及、光達點雲資料所需要的量測器材及運算軟硬體成本等問題。未來若要擴大資料跨域整合之領域，建議可針對點雲資料之標準格式 (如 e57、las、laz 及 ply 等) 相關蒐集方式，以進行資料轉換應用與融合，並評估資料處理成本之可行性。

(二) 依水土保持局實務需求，辦理無人飛行載具教育訓練，提升技術支援量能

定期調查水土保持局內需使用無人飛行載具，或內業影像處理應用業務人員，並提供教育訓練等實務練習。同時，持續追蹤已完成教育訓練學員考證情形，並予以相關設備及技術之協助，完善機關內無人飛行載具操作或模型建置之實戰能力。持續配合水土保持局推動無人飛行載具操作、資料加值或分析軟體相關培訓，並擴大訓練及交流對象至水土保持領域相關業務人員，使無人飛行載具操作人員不僅限於局內。接著，整合水土保持相關各單位之航拍資料，以符合主管機關之角色。

參考文獻

1. Airbus (2021), Pleiades user guide.
2. Aubry, T. J., Staunton-Sykes, J., Marshall, L. R., Haywood, J., Abraham, N. L., and Schmidt, A. (2021). Climate change modulates the stratospheric volcanic sulfate aerosol lifecycle and radiative forcing from tropical eruptions. Nature Communications, 12(1), 1-16.
3. Biggs, J., Dogru, F., Dagliyar, A., Albino, F., Yip, S., Brown, S., and Atıcı, G. (2021). Baseline monitoring of volcanic regions with little recent activity: application of Sentinel-1 InSAR to Turkish volcanoes. Journal of Applied Volcanology, 10(1), 1-14.
4. Fairfax, E., & Islands, C. C. Simple hand-built structures can help streams survive wildfires and drought.
5. Geitz, Peter; Jany, Angelika (2013). Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
6. Genzano, N., Pergola, N., and Marchese, F. (2020). A Google Earth Engine tool to investigate, map and monitor volcanic thermal anomalies at global scale by means of mid-high spatial resolution satellite data. Remote Sensing, 12(19), 3232.
7. Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
8. Harington, C. R. (1992). Year without a summer. World climate in 1816.
9. Lundgren, P., Casu, F., Manzo, M., Pepe, A., Berardino, P., Sansosti,

E., and Lanari, R. (2004). Gravity and magma induced spreading of Mount Etna volcano revealed by satellite radar interferometry. Geophysical Research Letters, 31(4).

10. Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, and H. Wanner. (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. Science, 303, 1499-1503.
11. Melton, M. A. (1957). An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. Columbia Univ New York.
12. Millard, T.H., D.J. Wilford and M.E. Oden. 2006. Coastal fan destabilization and forest management. Res. Sec., Coast For. Reg., BC Min. For., Nanaimo, BC. Tec. Rep. TR-034/ 2006
13. NVIDIA Instant NeRF 入門，https://developer.nvidia.com/blog/getting-started-with-nvidia-instant-nerfs/
14. Oppenheimer, C. (2003). Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. Progress in physical geography, 27(2), 230-259.
15. Parsons J.D., Whipple K.X., Simoni A. (2001) Experimental study of the grain-flow, fluid-mud transition in debris flows. The Journal of Geology, 109(4), 427–447.
16. Pierson, T., Costa, J., 1987. A rheologic classification of subaerial sediment-water flows, in: Costa, J.E. & W.G.F. (Ed.), Debris

Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation. Geological Society of America, pp. 1–12.

17. Schurer, A. P., Hegerl, G. C., Luterbacher, J., Brönnimann, S., Cowan, T., Tett, S. F., and Timmreck, C. (2019). Disentangling the causes of the 1816 European year without a summer. Environmental Research Letters, 14(9), 094019.
18. Stothers, R. B. (1984). The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath. Science, 224(4654), 1191-1198.
19. Tavakkoli Piralilou, S., Einali, G., Ghorbanzadeh, O., Nachappa, T. G., Gholamnia, K., Blaschke, T., & Ghamisi, P. (2022). A Google Earth Engine approach for wildfire susceptibility prediction fusion with remote sensing data of different spatial resolutions. Remote Sensing, 14(3), 672.
20. Welsh, A., & Davies, T. (2011). Identification of alluvial fans susceptible to debris-flow hazards. Landslides, 8(2), 183-194.
21. Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C., & Bergerud, W. A. (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides, 1(1), 61-66.
22. Witze A. (2021). How did we get here? The roots and impacts of the climate crisis. Science News. Retrieved from https://www.sciencenews.org/article/climate-change-crisis-history-research-carbon-human-impact
23. Zhou, W., Tang, C., Van Asch, T. W., & Chang, M. (2016). A rapid method to identify the potential of debris flow development induced

by rainfall in the catchments of the Wenchuan earthquake area. Landslides, 13(5), 1243-1259.

24. 土石流防災資訊網 (2018)，http://246.swcb.gov.tw
25. 水土保持局資料管理平台(2022)，https://data.swcb.gov.tw/。
26. 水土保持局電子圖書管理中心(2022)，https://elibrary.swcb.gov.tw/。
27. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。110 年土石流潛勢溪流調查評估與資料更新。行政院農業委員會水土保持局。
28. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。110 年度大規模崩塌防災整備暨監測情資研判計畫。行政院農業委員會水土保持局。
29. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。110 年度集水區土砂監測站維運與分析計畫。行政院農業委員會水土保持局。
30. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。110 年度隘寮溪上游(隘寮北溪、隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游)等集水區災害變遷調查規劃。行政院農業委員會水土保持局。
31. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。水土保持 3D 虛擬實境數位展館暨導覽建置計畫。行政院農業委員會水土保持局。
32. 行政院農業委員會水土保持局(2021)。築壩式重點農塘調查與滯洪農塘改善效益分析。行政院農業委員會水土保持局。
33. 行政院農業委員會水土保持局花蓮分局(2021)。110 年度花蓮縣卓溪鄉卓溪村 D010、太平村 D007 及古風村 T001 潛在大規模崩塌調查監測計畫。行政院農業委員會水土保持局花蓮分局。
34. 行政院農業委員會水土保持局臺中分局(2021)。110 年度苗栗縣泰安鄉、卓蘭鎮與臺中市東勢區潛在大規模崩塌監測計畫。行政院農業委員會水土保持局臺中分局。

35. 行政院農業委員會水土保持局臺中分局(2021)。陡坡坡面排水渠道消能設施應用及監測。行政院農業委員會水土保持局臺中分局。
36. 行政院農業委員會水土保持局臺東分局(2021)。臺東分局強化創新工法應用之可行性研究計畫。行政院農業委員會水土保持局臺東分局。
37. 行政院農業委員會水土保持局臺南分局(2021)。110 年度臺南分局保育治理專案管理計畫。行政院農業委員會水土保持局臺南分局。
38. 行政院農業委員會水土保持局臺南分局(2021)。築壩式重點農塘之韌性水資源環境調查與永續發展評析。行政院農業委員會水土保持局臺南分局。
39. 周憲德 (2020) 堆積扇地貌特性與土砂災害類型之探討
40. 松井宗廣, 田村毅, (2019). 無人化施工のあゆみ−火山砂防対策を中心として−,sabo, Vol.125
41. 施乃慈 (2018) 在三維環境中繪製高解析度地質圖：以臺灣北部雙 溪地質圖幅為例。臺灣大學地質科學研究所學位論文,145 頁。
42. 陳弘倫(2015)。無框架工法於阿里山公路邊坡整治之應用研究。成功大學碩士論文
43. 陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬 (2019)，「坡地降雨致災熱區警戒模式」，中華水土保持學報，50(1)，1-10。
44. 陳振宇、劉維則、許家祥 (2017)，「使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式」，中華水土保持學報，48(1)，44-55。
45. 開源軟體-COLMAP，https://colmap.github.io/install.html
46. 詹瑜璋 (2021) 光達測繪精細地形在地質圖修繪應用-LiDAR 地

質圖說明手冊。

47. 維基百科-虛擬實境，https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%9A%E6%8B%9F%E7%8E%B0%E5%AE%9E

48. 維基百科-攝影測量法，https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%91%84%E5%BD%B1%E6%B5%8B%E9%87%8F%E6%B3%95

附錄一 審查意見及回覆情形

審查意見	回覆情形
一、 孫明德委員	
(一)摘要及結論內容請將重要研究初步成果予以概述，例如蒐集研析國內外土砂防減災相關文獻，應與 2,152 件委辦案盤點結果進行差異以及實用性比對。	謝謝委員建議，已重新分析委辦案盤點結果進行差異以及實用性後，撰寫成果分析於詳第二章內文。
(二)報告內文所引用之國外圖表註記，請譯為合適之中文敘述。	謝謝委員建議，前述報告翻譯有誤植之處，以重新調整，並增補引述原文，詳見 P.2-38~P.2-42，圖有日文部分已改為中文，詳第二章內文。
(三)P2-125 述及北半球平均溫度下降，導致農作歉收、饑民起義，中國即由盛轉衰，此說關聯性過於薄弱及武斷。國家之盛衰其所涉及之原因龐雜，此氣候變遷原因應僅是其衰敗誘因之一，請勿誤導，並請將此文獻或引據予以註明。	謝謝委員指正，此段文字已於報告內文刪除。
(四)盤點 2,152 冊報告書，其中 1,485 件符合規定 667 件不符，不符比例高達 32%，不符規定之案件僅持續[提醒]承辦單位追蹤補件，其力道不足，建議依承辦單位別將各件列表，明確指出缺件狀況限時補件；往後新上傳電子圖書系統之檔案需經檢核完備，並列印檢核合格文件後，方能完成驗收程序付款。	謝謝委員建議，已增補將計畫成果鏈結驗收機制以強化成果蒐整之建議，以具體改善未來缺件狀況。

(五)紅色地圖於近十年常出現崩塌地調查委辦案，近年 H.O.S.T 地圖運用趨勢與之雷同，請比較此二工具之優劣，以供往後年度相關調查案件之參考。	謝謝委員建議，H.O.S.T 地圖相較於傳統赤色地圖，除了有可以顯示高程值之優勢外，在坡度、開闊度等演算方法也有所不同，在傳統赤色地圖的繪製中，坡度與開闊度僅有單一的計算方法，而在 H.O.S.T 地圖中，坡度的計算方法可依使用者需求選取所需要套用的計算方法。
(六)論文之原創性近年來漸受重視，本局電子圖書系統已蒐集 2152 件委辦研究成果，其可供比對之文獻庫漸充實，建議比照論文比對系統，引進如 Turnitin、快刀系統，建立委辦案原創性之比對。	謝謝委員建議，惟此議題涉及局內經費配置與相關作業，後續將提供此意見給相關承辦單位討論，並建議未來相關主責單位辦理。
(七)橋梁雖未位於主流河道上，若道路之重要性高且遭受土砂危險度高，亦應列入檢測，例如圖 4-6 排除之理由應詳述。	謝謝委員建議，排除之理由係因本方法於分析時僅考量各河道最下游之跨河橋梁作為分析，因此，於篩選時透過 google map 檢視 221 座橋梁是否合宜，而圖 3-6 天池橋僅跨越邊坡旁蝕溝，並未跨越水系，因此排除。
(八)橋梁遭受土砂危害除因排洪斷面不足、梁底高程太低，若有墩柱存在亦影響其危險性，橋梁集水區二維風險分析，僅以橋梁總長分析，建議加入墩柱存在、數量、跨距、型式材質等元素。	謝謝委員建議，墩柱數量及型式確實會影響河流之通洪斷面，將與主辦單位討論後，考量辦理可行性。
(九)明霸克露橋遭沖毀後，目前設置鋼便橋臨時通行，請提出具體往後復建為永久構造之設計條件。	謝謝委員建議，本計畫僅對橋梁集水區之風險進行評估建議，以提供主辦單位參考。有關明霸克露橋設計部分，因事涉公路總局(屬公路總局權責)，建議待雙方溝通後再行處理。

(十)請詳述 P5-1 資料視覺化應用方式、成效。	謝謝委員建議，已補上於內文第四章第一節。
(十一)目前我國正積極發展無人飛行載具產業，並已於嘉義成立無人飛行載具 AI 創新應用研發中心及無人飛行載具產業園區，請蒐集我國目前商品化無人飛行載具應用之相關資訊，提供主辦機關運用參考。	謝謝委員指教，本年度初步僅辦理無人飛行載具之教育訓練及相關規畫，後續計畫將納入委員意見整理我國目前無人飛行載具應用之相關資訊，及國內實際應用情形，供主辦單位參考。
(十二)本案重點工作有文獻分析與歷年研究成果盤點，第四章不安定土砂災害分析僅係前述章節之闡述，或是本研究新的成果，請予詳細說明。	謝謝委員意見，本年度為三年期中第一期計畫，因此著重於資料蒐集部分，如文獻分析跟歷年研究成果盤點。第三章不安定土砂評估方法屬主要之新研究成果，詳第一章流程圖。
二、　連惠邦委員	
(一)土石流數值模擬直接採用 HEC-RAS 6.0，而欠缺對其他數值模式的分析，應先行進行篩選和比較。	謝謝委員建議，本年度係初探 Hec-Ras 新增土石流功能，尚未直接採用其模式進行分析，未來將進一步與其他土石流數值模進行比較分析，提出其適用性。
(二)HEC-RAS 6.0 處理土石流所採用一相流的假設，除了無法模擬先端部巨礫集中問題外，也無法模擬土石淤積形狀，這對模擬土石流通過效果的通流能力存在很大的不確定性。	謝謝委員意見，後續將檢討其模式的適用條件及限制，並廣泛蒐集較為適合土石流現象的數值軟體。
(三)本研究首先提出不安定土砂潛勢分析的方法甚為可貴，不過在 P4-11 中，隨著橋梁長度的增加，不安定土砂的風險值越低，這與河道淤積抬升的總體趨勢相反，建議詳述。	謝謝委員建議，以現地勘查之橋梁統計資料顯示 (圖 3-17)，橋梁長度與淨高兩者為正相關，亦代表通常橋梁長度較長的橋梁，梁底離河道距離較大，推測不安定土砂對此橋的影響越小，因此風險值較低。

(四)不安定土砂的研究重於預測，就個人認為只要提出潛勢值，肯定優於推估其量體，所以建議在潛勢的方法論可以再加強。例如橋梁長度是固定的，但其淨空是隨著河溪寬度和上淤來水來砂量的變化，而作為動態改變，這是關鍵橋梁過流能力的根本，如果能夠納入不安定土砂破壞行水潛勢分析，其代表性應可期待。	謝謝委員建議，未來將納入水砂對橋梁的破壞行為資料蒐集，並修改於第三章之建議中，規劃於後續新增之因子。
(五)歷年土砂防災技術盤點宜提出後續可再發展的方向和方法(P3-27)。	謝謝委員建議，已新增說明於第二章盤點章節。
(六)摘要和結論建議宜再加強，其中建議 P7-3 之設計基準部分可考慮採用工程及保護設計基準。	謝謝委員建議，已重新撰寫摘要與結論與建議部分。
(七)第二章所謂最新的文獻資料係指何意?	謝謝委員指教，此章節主要蒐集並分享近年之土砂技術，而造成誤解，已刪除"最新"兩字。
三、 吳嘉俊委員	
(一)P2-77，MR 值的英文請再確認。	謝謝委員建議，已修正為 Melton Ratio。
(二)P2-130，落石型災害調適策略的內容有些新的(非慣用)名詞，宜加註英文或日文原文，以利參考。	謝謝委員建議，已加入原文說明，詳 P2-38。
(三)P2-130，土石流型災害調適策略所述內容是否合適，宜再檢討。	謝謝委員建議，參考文獻 The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, USGS (2008)，出處 P.53 頁，已將本原文置於本文中，詳 P.2-38
(四)P2-133，有關崩塌發生後該注意的事情第 7 項，請再檢	謝謝委員建議，已修正並附上原文，詳 P.2-38 至 2-42。

討。	
(五)P2-134，倒數第四行於溢洪道較陡處設置防砂壩的策略，請再評估可行性。	謝謝委員建議，原文如下 check dams are installed along steeper grades of the spillway to prevent erosion.，已改正文字敘述為消能用的外凸式階梯。
(六)第四章「不安定土砂災害分析」應考量坡面的不安定土砂及河道上的不安定土砂，目前僅以橋梁集水區作為指標，無法反映上述的不安定土砂問題，建議未來要納入。	謝謝委員建議，本年度計畫初步僅探討對橋梁的風險值，並探討方法可行性，未來將持續精進此評估方法。
(七)P4-3 表 4-1 地文脆弱度指標以崩塌的次數及面積做為脆弱度的分級，似乎欠缺崩塌後自然或人為復育後脆弱度的影響，宜再評估。	謝謝委員建議，地文脆弱度指標於統計時僅考慮各年度的新生崩塌頻率，應可包含植生復育之因子於內，明年度預計將地文脆弱度指標以水保局事件型崩塌目錄更新，可更直接的反應每次災害引致的崩塌。
(八)P4-12 危害程度以高程差對流經距離比值來計算，有再商議的空間。	謝謝委員建議，此計算因子及條件實屬初步計算條件，後續會再與主辦單位商討意見及細節，並於後續計畫辦理。
(九)P4-18 表 4-2 橋梁長度的分群門檻值之分群依據，宜補充說明。	謝謝委員建議，橋梁長度分群門檻僅以柱狀圖做為參考，並以試誤法嘗試分群，最後透過風險值二維矩陣分群後，風險值分布圖(圖 4-14) 大致為鐘型，作為判定依據。
(十)P4-26 倒數第二行「足夠代表性」的陳述過於武斷，請再修正。	謝謝委員建議，已調整內文敘述方式。
(十一)P4-32(二)完備橋梁資訊精進評估能力的陳述宜再評估。	謝謝委員建議，已調整內文敘述方式。
(十二)參考文獻英文文獻重複甚	謝謝委員意見，已全部刪除，詳

多，請修正。	P 參-1~P 參-6。
四、 王志雄委員	
(一)請補附英文摘要。	已補英文摘要，詳 Abstract
(二)本案蒐集國內外土砂防減災技術資料，並撰寫成 30 篇電子報，在本報告之摘要節錄了 10 篇本研究相關部分，建議其他 20 篇放在附錄供參。	謝謝委員意見，重新將電子報部分調整於附錄五，並新增推廣成效說明。
(三)本年度目標(一).2「調適對策或技術可行性評估」團隊蒐集了美國地調所出版「崩塌地手冊」之各種調適策略，目標(一).3「進行案例測試可行性」，為在報告內未見案例測試，請說明。	謝謝委員意見，本年度案例測試採用 IRIC 模擬汐止區鵠鵠崙大規模崩塌地崩塌土方量估算以及土石流流動模擬，並發表於研討會，但因本年度現地勘查以高雄荖濃溪為主，相關資料尚未納入模式案例測試。
(四)本計畫盤點 2021 委辦案資料，其中各委辦案有不符合項目，是否已提供各組室參考補正，又是否了解各組室補正情形？另，表 3-4 統計數量的意義並明確表示。	1.將依據委員意見與承辦單位討論後，追蹤未補正之項目進行追蹤，未來將與主辦機關討論並訂立驗收標準，如未上傳完成，將不予以同意驗收。 2.盤點項目係依據所需項目是否有符合及依照規定上傳，已補充說明。
(五)本研究為 3 年計畫，請問規劃的各年度目標或重點工作為何？	本年度以蒐集不安定土砂相關議題資料為優先，第二年將以數值模擬或相關模式之研究為方向，而第三年期則以驗證前兩年之不安定土砂堆積或流動情形並檢討為主軸，並持續與主辦單位持續檢討計畫執行方向。
五、 土石流防災中心	
(一)P.4-21 表 4-3 以藍色字體區分台鐵橋梁，建議可於表頭增加一欄"權責機關"以利區分；另建議 221 處橋梁分析風險結果排序資料，可將資	謝謝委員建議，新增 221 座橋梁總表於附錄三，並加入權責機關欄位於總表。

訊整理完全後附於附表以利閱讀。	
(二)P.7-3 (三) 強化防災能量之建議內容，皆為本局目前仍持續精進且行之有年的內容，是否有更具體之建議辦理方式、活動或案例可供參考。	謝謝委員意見，本建議內文已刪除，報告內聚焦於不安定土砂之相關研究內容。

附錄二 審查會議簽到單

「111 年氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究」審查會議簽到單

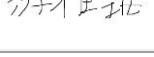
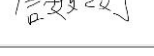
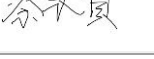
壹、開會時間：111 年 12 月 16 日(星期五)上午 10 時 00 分

貳、開會地點：本局府西辦公室第二會議室

參、主持人：陳總工程司振宇 陳振宇

肆、出(列)席單位及人員 紀錄：高百毅

出席委員			簽名處
單位(機關)	**職稱**	**姓名**	**姓　　名**
水土保持局(退休)	副局長	孫明德	孫明德
逢甲大學	教授	連惠邦	連惠邦
國立屏東科技大學	教授	吳嘉俊	吳嘉俊
國立中興大學(退休)	教授	游繁結	
保育治理組	副組長	王志雄	王志雄
土石流防災中心	簡任正工程司	林仕修	
出列席單位			**簽名處**
單位	**職稱**	**姓名**	**姓　　名**
農業科技研究院	資深研究員	黃德秀	黃德秀
綜合企劃組			
保育治理組	工程員	陳均美	陳均美
農村建設組			
監測管理組			

土石流防災中心	助理工程員	游雅筑	
國際合作小組			
臺北分局			
臺中分局	工程員	郭銓	
南投分局	工程員	陳俞瑾	
臺南分局			
臺東分局	正工程司兼課長	鍾庫比亞	
臺東分局	副工程司	黃柏璁	
花蓮分局			
技術研究發展小組	副工程司	高百毅	
技術研究發展小組	工程員	詹婉妤	
技術研究發展小組	計畫型研究人員	蔡宗賢	
技術研究發展小組	計畫型研究人員	李哲宇	
技術研究發展小組	計畫型研究人員	莊承穎	
技術研究發展小組	計畫型研究人員	林宥伯	
技術研究發展小組	駐點人員	劉孟哲	

附錄三 橋梁集水區風險指標列表

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
第二號橋	20	屏東縣	霧臺	省道	臺 24 線	公路總局
唯金溪橋	20	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
大觀橋	20	南投縣	仁愛	省道	臺 14 線	公路總局
則前橋(左)	20	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
高義橋	20	桃園市	復興區	省道	臺 7 線	公路總局
邦腹溪橋	16	高雄市	六龜區	省道	臺 27 線	公路總局
明霸克露橋	16	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
仁愛橋	16	嘉義縣	番路	省道	臺 18 線	公路總局
西小清水溪橋	16	花蓮縣	秀林鄉	特甲級線	北迴線	台鐵
慈雲橋	16	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
木蘭橋	16	南投縣	仁愛	省道	臺 8 線	公路總局
東大清水溪橋	16	花蓮縣	秀林鄉	特甲級線	北迴線	台鐵
四季一橋	16	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
石門橋	15	花蓮縣	富里	省道	臺 23 線	公路總局
霧鹿橋	15	臺東縣	海端	省道	臺 20 線	公路總局
利稻橋	15	臺東縣	海端	省道	臺 20 線	公路總局
復興橋	15	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
大埔橋	15	嘉義縣	大埔	省道	臺 3 線	公路總局
卓安橋	15	花蓮縣	卓溪	省道	臺 30 線	公路總局
幽谷橋	15	嘉義縣	中埔	省道	臺 3 線	公路總局
信義橋	15	嘉義縣	番路	省道	臺 18 線	公路總局
民和橋	15	南投縣	水里	省道	臺 16 線	公路總局
池南橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺 9 丙線	公路總局
雲龍橋	15	南投縣	仁愛	省道	臺 14 線	公路總局
北港溪橋	15	南投縣	國姓	省道	臺 21 線	公路總局
銘傳橋	15	臺中市	和平區	省道	臺 8 線	公路總局
稚暉橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
慈恩橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
洛韶橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
華祿橋	15	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
枋野一號橋	12	屏東縣	獅子鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
大鳥橋	12	臺東縣	大武	省道	臺 9 線	公路總局
三合橋	12	高雄市	六龜區	省道	臺 27 線	公路總局
第一號橋	12	高雄市	六龜區	省道	臺 27 線	公路總局
都威橋	12	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
那都魯札橋 (第 1 號鋼便橋)	12	高雄市	那瑪夏區	省道	臺 29 線臨 11 便道	公路總局
雙溪橋	12	臺南市	楠西區	省道	臺 3 線	公路總局
達卡努瓦橋	12	高雄市	那瑪夏區	省道	臺 29 線	公路總局

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
大同三號橋	12	嘉義縣	大埔	省道	臺 3 線	公路總局
沙崙橋	12	嘉義縣	番路	省道	臺 3 線	公路總局
望鄉橋	12	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
和平橋	12	花蓮縣	豐濱	省道	臺 11 甲線	公路總局
荖溪橋(北上)	12	花蓮縣	壽豐	省道	臺 9 丙線	公路總局
慈母橋	12	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
成武橋	12	臺中市	和平區	省道	臺 8 線	公路總局
達盤橋	12	臺中市	和平區	省道	臺 8 線	公路總局
可法橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
敦厚橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
百韜橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
英士橋(右)	12	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 線	公路總局
松羅橋	12	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 線	公路總局
大漢橋	12	桃園市	復興區	省道	臺 7 線	公路總局
榮華橋	12	桃園市	復興區	省道	臺 7 線	公路總局
霞雲橋	12	桃園市	復興區	省道	臺 7 線	公路總局
烏來橋	12	新北市	烏來區	省道	臺 9 甲線	公路總局
三八○號橋	10	屏東縣	枋山	省道	臺 26 線	公路總局
牡丹路橋	10	屏東縣	獅子	省道	臺 9 線	公路總局
大津橋(新)	10	高雄市	茂林區	省道	臺 27 線	公路總局
第一號橋	10	高雄市	六龜區	省道	臺 27 線	公路總局
寶來一橋	10	高雄市	六龜區	省道	臺 20 線	公路總局
新武橋	10	臺東縣	海端	省道	臺 20 線	公路總局
天龍橋	10	臺東縣	海端	省道	臺 20 線	公路總局
堺橋	10	臺東縣	成功	省道	臺 11 線	公路總局
北石寧橋	10	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
石門橋	10	花蓮縣	富里	省道	臺 23 線	公路總局
石坑橋	10	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
城子橋	10	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
溪水橋	10	嘉義縣	中埔	省道	臺 3 線	公路總局
三富橋	10	花蓮縣	豐濱	省道	臺 11 線	公路總局
愛玉橋	10	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
二十一號橋	10	花蓮縣	豐濱	省道	臺 11 線	公路總局
社子橋	10	南投縣	水里	省道	臺 16 線	公路總局
鹽寮橋	10	花蓮縣	壽豐	省道	臺 11 線	公路總局
粗坑橋	10	南投縣	草屯	省道	臺 14 線	公路總局
本部溪橋	10	南投縣	埔里	省道	臺 14 線	公路總局
東福橋	10	南投縣	國姓	省道	臺 21 線	公路總局
沙連溪橋	10	臺中市	和平區	省道	臺 8 線	公路總局
卡南橋	10	花蓮縣	秀林	省道	臺 9 線	公路總局
石洞橋	10	苗栗縣	獅潭	省道	臺 3 線	公路總局
和美一號橋	10	新北市	貢寮區	省道	臺 2 線	公路總局

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
安和橋	10	新北市	瑞芳區	省道	臺 2 線	公路總局
商工橋	10	新北市	淡水區	省道	臺 2 線	公路總局
北太麻里橋	9	臺東縣	太麻里	省道	臺 9 線	公路總局
炳才橋	9	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
阿眉溪橋(北上)	9	花蓮縣	富里	省道	臺 9 線	公路總局
樟原橋	9	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
竹崎大橋	9	嘉義縣	竹崎	省道	臺 3 線	公路總局
豐濱橋(南下)	9	花蓮縣	豐濱	省道	臺 11 線	公路總局
長福橋	9	臺中市	新社區	省道	臺 21 線	公路總局
魯丹橋	9	花蓮縣	秀林	省道	臺 8 線	公路總局
嘉惠橋	9	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 甲線	公路總局
坪林橋	9	新北市	坪林區	省道	臺 9 線	公路總局
獅子頭橋	8	屏東縣	枋山	省道	臺 1 線	公路總局
枋野二號橋	8	屏東縣	獅子鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
安朔二號橋	8	臺東縣	達仁鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
東河橋	8	臺東縣	東河	省道	臺 11 線	公路總局
份尾橋	8	高雄市	杉林區	省道	臺 29 線	公路總局
舊潭橋	8	高雄市	六龜區	省道	臺 27 線	公路總局
四維橋	8	花蓮縣	富里	省道	臺 23 線	公路總局
塔拉拉魯芙橋	8	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
民族橋	8	高雄市	那瑪夏區	省道	臺 29 線	公路總局
大南橋	8	嘉義縣	梅山	省道	臺 3 線	公路總局
庫坑橋	8	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
九層橋	8	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
信義橋	8	嘉義縣	番路	省道	臺 18 線	公路總局
水璉南溪橋	8	花蓮縣	壽豐	省道	臺 11 線	公路總局
水璉北溪橋	8	花蓮縣	壽豐	省道	臺 11 線	公路總局
澳尾橋	8	宜蘭縣	南澳	省道	臺 9 丁線	公路總局
汶水橋	8	苗栗縣	獅潭	省道	臺 3 線	公路總局
竹木橋	8	苗栗縣	獅潭	省道	臺 6 線	公路總局
大東勢 1 橋	8	苗栗縣	獅潭	省道	臺 3 線	公路總局
中港溪橋	8	苗栗縣	三灣	省道	臺 3 線	公路總局
羅裕橋	8	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 線	公路總局
蘇樂橋	8	桃園市	復興區	省道	臺 7 線	公路總局
碧湖橋	8	新北市	坪林區	省道	臺 9 線	公路總局
下龜山橋	8	新北市	新店區	省道	臺 9 甲線	公路總局
大溪川	8	宜蘭縣	頭城鎮	特甲級線	宜蘭線	台鐵
第三武丹坑(西)	8	新北市	雙溪區	特甲級線	宜蘭線	台鐵
東勢一號橋	8	基隆市	暖暖區	省道	臺 2 丙線	公路總局
老梅橋	8	新北市	石門區	省道	臺 2 線	公路總局
雙流橋	6	屏東縣	獅子	省道	臺 9 線	公路總局
十里溪橋	6	屏東縣	獅子鄉	特甲級線	南迴線	台鐵

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
朝庸一號橋	6	臺東縣	達仁鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
加津林橋	6	臺東縣	大武鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
七里橋	6	臺東縣	東河	省道	臺 11 線	公路總局
北寮橋	6	臺南市	南化區	省道	臺 3 線	公路總局
建山一橋	6	高雄市	六龜區	省道	臺 20 線	公路總局
綠茂橋	6	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
第五號橋	6	高雄市	甲仙區	省道	臺 29 線	公路總局
桃源一橋	6	高雄市	桃源區	省道	臺 20 線	公路總局
安通橋	6	花蓮縣	玉里	省道	臺 9 線	公路總局
卓溪橋	6	花蓮縣	玉里鎮	特甲級線	臺東線	台鐵
單及娜橋	6	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
達瑪巒橋(原名地利橋)	6	南投縣	信義	省道	臺 16 線	公路總局
湖忠橋	6	苗栗縣	大湖	省道	臺 3 線	公路總局
東澳北溪	6	宜蘭縣	南澳鄉	特甲級線	北迴線	台鐵
執信橋(左)	6	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 線	公路總局
海墘二號橋	5	屏東縣	恆春	省道	臺 26 線	公路總局
港仔二號橋	5	屏東縣	滿州	省道	臺 26 線	公路總局
金崙大橋	5	臺東縣	太麻里	省道	臺 9 線	公路總局
南太麻里溪橋	5	臺東縣	太麻里鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
霧台谷川大橋	5	屏東縣	霧臺	省道	臺 24 線	公路總局
統嶺坑橋	5	高雄市	大樹區	省道	臺 29 線	公路總局
黑髮橋	5	臺東縣	卑南	省道	臺 11 線	公路總局
湖底橋	5	臺南市	左鎮區	省道	臺 20 線	公路總局
七苓橋	5	臺南市	南化區	省道	臺 3 線	公路總局
密枝橋	5	臺南市	楠西區	省道	臺 3 線	公路總局
南石寧橋	5	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
粗石橋	5	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
南三間屋橋	5	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
陳有蘭溪橋	5	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
頭社橋	5	南投縣	魚池	省道	臺 21 線	公路總局
田螺橋	5	南投縣	魚池	省道	臺 21 線	公路總局
仁壽橋	5	花蓮縣	秀林	省道	臺 9 丙線	公路總局
新和平溪橋	5	花蓮縣	秀林鄉	特甲級線	北迴線	台鐵
南湖二橋	5	苗栗縣	大湖	省道	臺 3 線	公路總局
南湖一橋	5	苗栗縣	大湖	省道	臺 3 線	公路總局
三義二橋	5	苗栗縣	三義	省道	臺 13 線	公路總局
南澳北溪河川橋	5	宜蘭縣	南澳	省道	臺 9 線	公路總局
岡見橋	5	苗栗縣	頭屋	省道	臺 13 線	公路總局
石井橋	5	新竹縣	峨眉	省道	臺 3 線	公路總局
社官橋	5	新竹縣	北埔	省道	臺 3 線	公路總局

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
石門二號橋	5	桃園市	龍潭區	省道	臺 3 乙線	公路總局
東安橋	5	桃園市	大溪區	省道	臺 7 線	公路總局
二鬮橋	5	新北市	三峽區	省道	臺 3 線	公路總局
新社橋	5	新北市	貢寮區	省道	臺 2 丙線	公路總局
福慧橋	5	桃園市	龜山區	省道	臺 1 線	公路總局
隆隆橋	5	新北市	貢寮區	省道	臺 2 線	公路總局
草濫溪	5	基隆市	七堵區	特甲級線	縱貫線	台鐵
上天橋	5	新北市	瑞芳區	省道	臺 2 丁線	公路總局
魚桀魚坑橋	5	新北市	瑞芳區	省道	臺 2 丁線	公路總局
深澳橋	5	新北市	瑞芳區	特甲級線	宜蘭線	公路總局
水碓橋	5	新北市	淡水區	省道	臺 2 線	公路總局
集應橋	5	新北市	淡水區	省道	臺 2 線	公路總局
福德橋	5	新北市	淡水區	省道	臺 2 線	公路總局
第 37 號橋	5	新北市	金山區	省道	臺 2 線	公路總局
第 26 號橋	5	新北市	石門區	省道	臺 2 線	公路總局
石牛橋	4	屏東縣	恆春	省道	臺 26 線	公路總局
大流橋	4	屏東縣	牡丹	省道	臺 26 線	公路總局
達仁溪橋	4	臺東縣	達仁	省道	臺 26 線	公路總局
安朔一號橋	4	臺東縣	達仁鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
大武溪橋	4	臺東縣	大武鄉	特甲級線	南迴線	台鐵
大崎橋	4	高雄市	燕巢區	省道	臺 22 線	公路總局
入船橋	4	臺東縣	東河	省道	臺 11 線	公路總局
新寮橋	4	高雄市	六龜區	省道	臺 28 線	公路總局
集來橋	4	高雄市	杉林區	省道	臺 29 線	公路總局
三錦橋	4	臺南市	南化區	省道	臺 20 乙線	公路總局
人仰橋	4	臺南市	南化區	省道	臺 20 乙線	公路總局
拔馬橋	4	臺南市	左鎮區	省道	臺 20 線	公路總局
砂田橋	4	臺南市	玉井區	省道	臺 3 線	公路總局
齒草橋	4	臺東縣	長濱	省道	臺 11 線	公路總局
坑內橋	4	嘉義縣	番路	省道	臺 3 線	公路總局
筆石橋	4	南投縣	信義	省道	臺 21 線	公路總局
十八號橋	4	花蓮縣	壽豐	省道	臺 11 線	公路總局
籐湖橋	4	南投縣	竹山	省道	臺 3 線	公路總局
橄樹橋	4	花蓮縣	壽豐	省道	臺 11 線	公路總局
東卯橋	4	臺中市	和平區	省道	臺 8 線	公路總局
景山橋	4	苗栗縣	卓蘭	省道	臺 3 線	公路總局
三義一橋	4	苗栗縣	三義	省道	臺 13 線	公路總局
東澳南溪	4	宜蘭縣	南澳鄉	特甲級線	北迴線	台鐵
百壽橋	4	苗栗縣	獅潭	省道	臺 3 線	公路總局
濱海橋	4	宜蘭縣	蘇澳	省道	臺 2 線	公路總局
南社橋	4	苗栗縣	後龍	省道	臺 1 線	公路總局
伯公崑一橋	4	苗栗縣	三灣	省道	臺 3 線	公路總局

橋梁名	風險指標	所在縣	所在區	道路等	路線	管理單位
清水橋	4	宜蘭縣	三星	省道	臺 7 丙線	公路總局
平林三號橋	4	新北市	雙溪區	省道	臺 2 丙線	公路總局
大湳灣溪橋(南向)	4	新北市	林口區	省道	臺 15 線	公路總局
瑞樹坑溪橋(北向)	4	新北市	林口區	省道	臺 15 線	公路總局
萬里大橋	4	新北市	萬里區	省道	臺 2 線	公路總局
東勢埔橋	3	高雄市	內門區	省道	臺 3 線	公路總局
福同橋	3	南投縣	埔里	省道	臺 21 線	公路總局
東澳北溪河川橋南下線	3	宜蘭縣	南澳	省道	臺 9 線	公路總局
永樂高架橋南下線	3	宜蘭縣	蘇澳	省道	臺 9 線	公路總局
英士橋(左)	3	宜蘭縣	大同	省道	臺 7 線	公路總局
平湖一號橋	3	新北市	平溪區	省道	臺 2 丙線	公路總局
田寮橋	2	南投縣	集集	省道	臺 16 線	公路總局
伯公坑高架橋	2	苗栗縣	三義	省道	臺 13 線	公路總局
鳳山溪	2	新竹縣	竹北市	特甲級線	縱貫線	台鐵
台 15 線-林口溪橋(南向)	2	新北市	林口區	省道	臺 15 線	公路總局
永樂高架橋北上線	2	宜蘭縣	蘇澳	省道	臺 9 線	公路總局
台 64 線觀音山交流道-凌雲路端聯絡道	1	新北市	八里區	省道	臺 64 線	公路總局

附錄四 文章發表

(一) Cheng-Ying Chuang, Bai-Yi Kao and Chen-Yu Chen (2022). Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH. 15th Congress INTERPRAEVENT 2022 Taiwan. (發表 1)

(二) Chen-Yu Chen, Pei-Yu Shih, Bai-Yi Kao, Wan-Yu Chan (2022). Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021. 令和 4 年度砂防學會研究發表會概要集. (發表 2)

(三) Zong-Xian Tsai, Chen-Yu Chen and Wan-Yu Chan (2022). Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan. 15th Congress INTERPRAEVENT 2022. (發表 3)

(四) 李哲宇、莊承穎、陳振宇、高百毅(2022)。iPhone 生成數位孿生於水土保持工程之應用性探討。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 4)

(五) 林宥伯、陳振宇、李哲宇、高百毅(2022)。應用二期數值高程模型快速評估不安定土砂分布熱區。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 5)

(六) 林宥伯、陳振宇、莊承穎、高百毅(2022)。應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例。森林集水區經營及環境監測研討會。(發表 6)

(七) 高百毅、林宥伯、陳振宇、蔡宗賢(2022)。以數值地形模型評估崩塌坡面土砂量體變化之研究。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 7)

(八) 莊承穎、施佩昱、陳昭岑、黃奉琦、陳振宇(2022)。應用多時期正射影像於大規模崩塌潛勢區變形量判釋-以桃園復興 T002 為例。臺灣地球科學聯合學術研討會。(發表 8)

(九) 莊承穎、陳振宇、詹婉妤(2022)。以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例。森林集水區經營及環境監測研討會。(發表 9)

(十) 莊承穎、陳振宇、蔡宗賢、詹婉妤(2022)。不安定土砂潛勢快速評估法可行性之探討。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 10)

(十一) 詹婉妤、陳振宇、莊承穎、李哲宇(2022)。臺灣歷史堰塞湖案例分析與探討。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 11)

(十二) 蔡宗賢、林宥伯、陳振宇、詹婉妤(2022)。應用 IRIC 模式模擬汐止鵠鵠崙崩塌土砂運動行為。2022 中華水土保持學會研討會。(發表 12)

15th Congress INTERPRAEVENT 2022 Taiwan
Extended Abstract
https://interpraevent2022.nchu.edu.tw

Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH

Cheng-Ying Chuang [1, 2, *], Bai-Yi Kao [1] and Chen-Yu Chen [1]

[1] Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2] Agricultural Technology Research Institute, R.O.C
[*] Correspondence: cyc0109@mail.swcb.gov.tw; Tel.: 049-234-7532

Keywords: iRIC Morpho2DH; Large-scale Landslide; T002

1. Introduction

The heavy rainfall will trigger landslides or debris flow in the slope land, which pose a great threat to the protected targets in the downstream due to the short response time. In order to study and reproduce the features of disasters, the numerical simulation is a common method.

Takebayashi et al. (2020) applied iRIC (International River Interface Cooperative) Morpho2DH (Nelson et al. 2016) to simulate a rainfall-induced the debris flow event in Hiroshima, Japan on August 20, 2014. The research results show that the program can effectively simulate the characteristics of debris flow, such as depth, velocity, influence range, and the required time for the debris flow to travel from the upstream to the downstream protected targets.

The potential large-scale landslides (Slope number T002) located in the north of Taiwan has started to displace since 2012. According to the long-term monitory results, the displacement rate has accelerated at the beginning of 2021. To evaluate the impact and influence area if the landslide forms debris flow during rainfall, this study tries to use the iRIC Morpho2DH model to demonstrate the situation simulation.

2. Materials and Methods

(1) The study area:

The potential large-scale landslide area located in Fuxing Taoyuan (Slope number T002) (N24.658414, E121.392633) started to displace in 2012 (**Figure 1**). The slope of the area is up gentle (30 - 40 degrees) and down steep (40 - 55 degrees and some about 60 degrees), and the slope is 290 meters high. According to the long-term monitory results, the displacement rate has accelerated at the beginning of 2021 and retarded in July, but the activates and expands are still continuing toward the slope toe.

(2) iRIC Morpho2DH

iRIC is a program jointly developed by the United States Geological Survey, Kyoto University, and other units for analyzing river and terrain dynamics (morphodynamics). iRIC Morpho2DH can simulate the migration and accumulation process of debris flow caused by landslides of slope land. iRIC Morpho2DH divides the fluid into laminar and turbulent layers to calculate energy dissipation and uses

發表 1　Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH.

the drag coefficient in the Chezy formula to calculate bed friction. Therefore, this program can calculate debris flow and debris flow/mud flow mixtures. The program can also consider the influence of structures (such as buildings, sabo dams, etc.), and can accurately simulate the behavior of soil and rock flow even in complex areas.

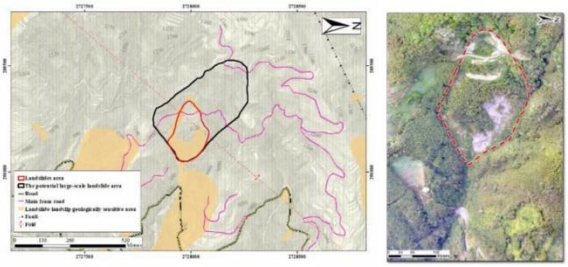


Figure 1. The study area (2021.08.05).

Table 1. The setting of this study.

Material/Parameter	Setting
DEM	2021/08/31 DEM by SWCB
Depth of Landslide	20m (Outside), 30 m (Center)
Simulation Grids	52×31=1,612 (10 m × 10 m)
MaxErosionDepth	0.5 m
Laminar Flow Depth Ratio	0.1 (0.1-0.4)*
Minimum Flow Depth	0.01 m*
Liquid Behavior Sediment Ratio	0.02
Resistance Coefficient	140*

*Refer to iRIC Morpho2DH manual

3. Results and Discussion

The simulation results show the iRIC Morpho2DH program can conduct the depth, maximum depth, and main deposition area of debris flow effectively. They also indicate that the road will be buried by the sediment around 10 to 15 sec after the debris flow occurring, and the depth over 5 m (**Figures 2 and 3**). These results can predict the possible impact range after the potential large-scale landslide collapse preliminarily, and help the government official to make the decision for evacuation of inhabitants and take response actions effectively.

4. Conclusions

The iRIC Morpho2DH program can simplify the parameters of simulation for debris flow and reproduce the process of landslide disaster. While more detail parameters or simulation conditions such as the moving bed are helpful to obtain more precise results, the iRIC Morpho2DH model still plays an important role in the mitigation and disaster prevention.

發表 1　Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH.

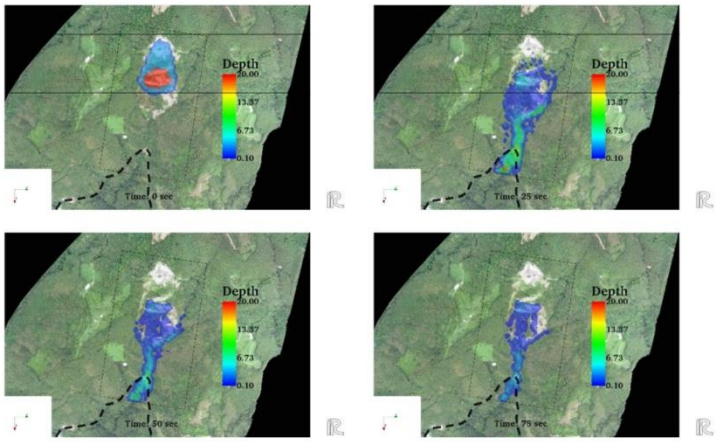


Figure 2. The simulation depth results of iRIC. a) t = 0 s; b) t =25 s; c) t =50 s; and d) t =75 s

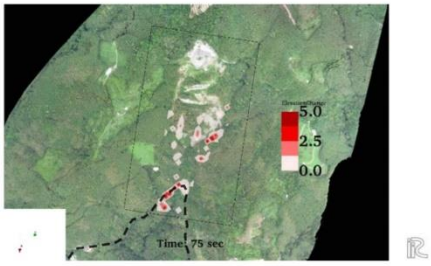


Figure 3. The results of debris flow accumulation by iRIC (t =75 s).

References

1. Takebayashi, H. (2016) Morpho2DH Tutorial - Bed Material Load, An iRIC Project document.
2. Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., Watanabe, Y., (2016). "The international river interface cooperative: public domain flow and morphodynamics software for education and appli-cations." Advances in Water Resources 93, 62–74.
3. Takebaya, H. and Fujita, M. (2020). " Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model." Geosciences 2020, 10, 45, doi:10.3390/geosciences10020045.
4. The information link of BigGIS for T002: https://gis.swcb.gov.tw/map/?left-menu_PID=Landslide_P6

發表 1　Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH.

P2 - 70 令和４年度砂防学会研究発表会概要集

Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021

○Chen-Yu Chen, Pei-Yu Shih, Bai-Yi Kao, Wan-Yu Chan
Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台湾水土保持局)

1. INTRODUCTION

In 2009, Typhoon Morakot caused severe landslides in the central and southern mountainous areas of Taiwan. A large amount of unstable sediments remain on the slope in partial watersheds. In the event of heavy rain, the unstable sediment on the slope may be converted into debris flow, directly threatening downstream residents and bridges. In August 2021, the heavy rainfall triggered by the intrusion of the peripheral circulation of Typhoon Lupit caused a debris flow disaster in Kaohsiung, Taiwan. The Minbaklu Bridge (WGS84: 23.188205N, 120.788176E) at the confluence of Yusui River and Laonong River was washed away by water from a large amount of sediment. (**Fig. 1**)

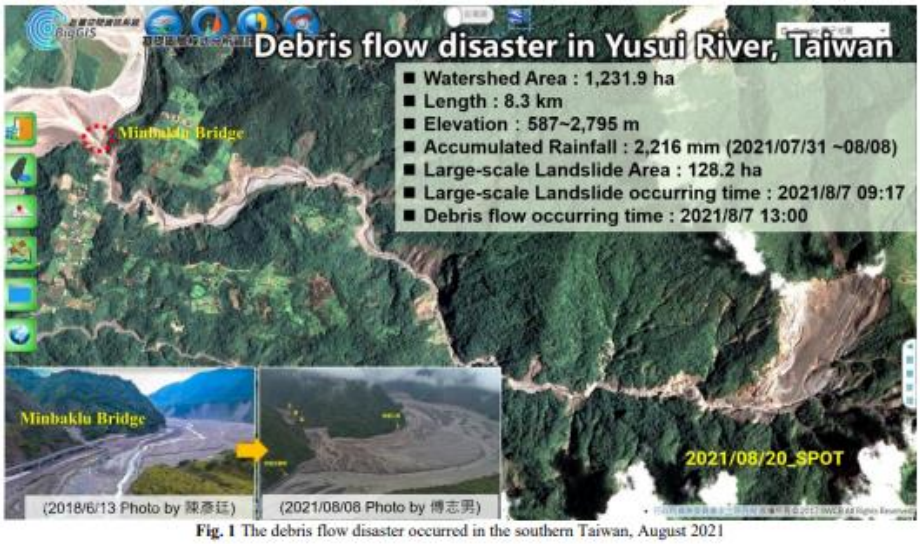


Fig. 1 The debris flow disaster occurred in the southern Taiwan, August 2021

2. RAINFALL AND SEDIMENT DISASTER

While the Typhoon Lubit passed through the Taiwan Strait, it also drove the southwesterly flow that caused the great amount of torrential rain in the beginning of August. According to the weather observation reports, the accumulative rainfall of 72 hours has reached to 1,362 mm, which is 58% of yearly value (average 2,331 mm of 1960-2019) of Fuxing area (**Fig. 2**). Some ground vibration signals had caught by seismographs, and researchers inferred a large-scale landslide occurred at 9:17 am on August 7. Around 4 hours later, the debris flow damaged the Minbaklu Bridge in the downstream of Yusui River.

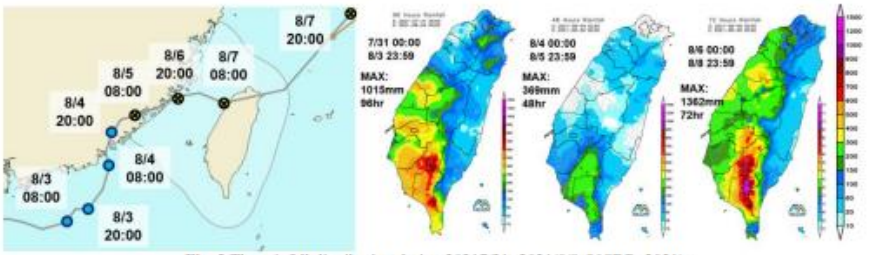


Fig. 2 The rainfall distribution during 20217/31~2021/8/8 (NCDR, 2021).

發表 2 Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021.

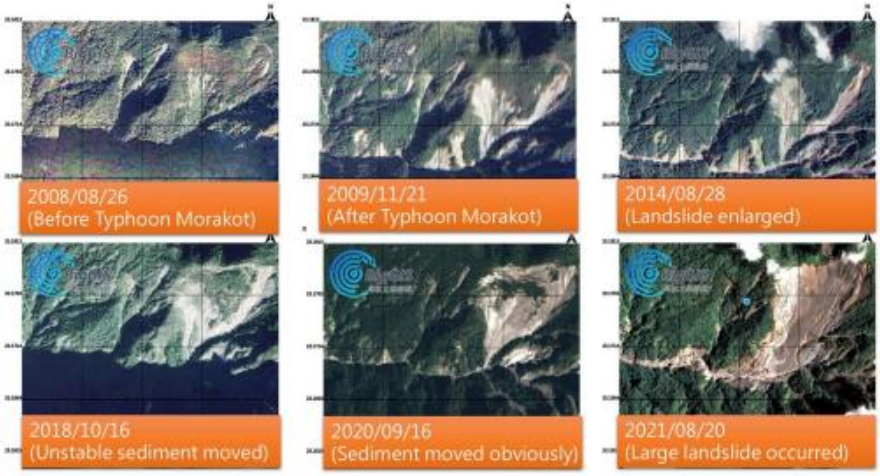


Fig. 3 The change of unstable sediment on the slope in the upstream of the Yusui River.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Comparing the DSM of pre-disaster and post-disaster, there was a large-scale landslide at the upstream of Yusui River, which estimated 23.1 m depth and 8.51 million m^3 sediment of erosion. In addition, it evaluated 6.1 m height and 1.84 million m^3 sediment of the deposit at the downstream. The alluvial fan is approximately 11.9 m height, the maximum height is about 22.3 m, and the deposit volume is around 2.02 million m^3. In general, the sediment production (erosion) is about 11.07 million m^3, and the deposit quantity is about 7.13 million m^3 in total at the Yusui River watershed.

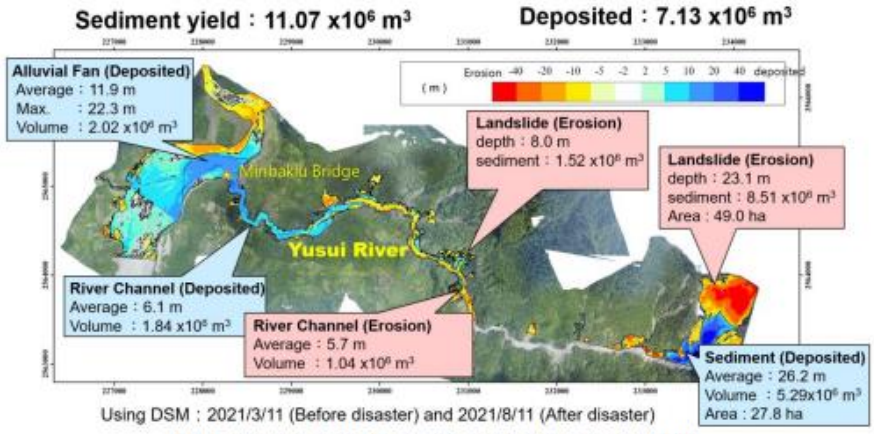


Fig. 4 The change of terrain in the Yusui River after Typhoon Lupit in 2021

4. CONCLUSIONS

The most disaster prevention of Taiwan was focused on the affected from the debris flow area or the large-scale landslides where the protected targets located. However, secondary disasters derived from unstable sediment caused unpredictable disasters. Therefore, the regular inspections of unstable sediment at the upstream watershed will be the major work of preventions for the next years.

Keywords: Debris flow, Large-scale landslide, Sediment disaster.

發表 2　Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021.

15th Congress INTERPRAEVENT 2022 Taiwan
Extended Abstract
https://interpraevent2022.nchu.edu.tw

Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien County, Taiwan

Zong-Xian Tsai[1`2,*], Chen-Yu Chen[1] and Wan-Yu Chan[1]

1 Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan; zxtsai0901@gmail.com
1 Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan; cychen59@gmail.com
1 Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan; abu026@mail.swcb.gov.tw
2 Agricultural Technology Research Institute, Hsinchu City 300-110, Taiwan. 1112080@mail.atri.org.tw
* Correspondence: zxtsai0901@gmail.com; Tel.: (+886+49+2394300 ext. 7533)

Keywords: BigGIS; Landslide Dam; HEC-RAS; Google Earth

1. Introduction

Landslide dam often forms by rockfall or landslide due to rainfall events or earthquake. It posts a great threat to the population and property downstream (Liao et al., 2018). Most landslide dams occur in the mountainous area where people are difficult to arrive. Due to it occurs infrequently, local people seldom pay attention to this issue. However, the flooding caused by the landslide dam breach often larger than induced by rainfall events in the watershed. In addition, the available alarm time is usually very short for evacuation (Becker et al., 2007). Therefore, there is a need to develop a quickly assessment tool for the landslide dam identification and to predict the flooding after the landslide dam breach. In this study, BigGIS platform was utilized to identify the backwater area of the landslide dam and HEC-RAS 2D model also used to simulate the flow range after the landslide dam breach.

2. Materials and Methods

2.1 Study area

The landslide dam is at latitude 23.496232 degrees and longitude 121.256382 degrees, in Feng-Ping stream watershed, Hualien County, Taiwan. The watershed area is 265 square kilometers, including 156 square kilometers for the upper watershed area and 109 square kilometers for the downstream watershed area of the landslide dam, as shown in Figure 1.

發表 3　Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan.

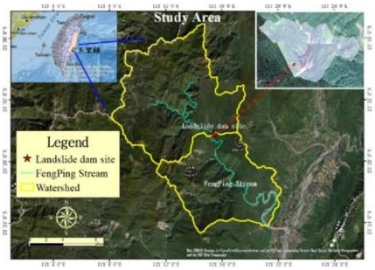


Figure 1. Study area

2.2 The backwater range identification for landslide dam

According to the news report on 22, April, 2022, as shown in Figure 2, the landslide dam was investigated recently that was formed in the upper watershed of Feng Ping stream. The water accumulation behind the landslide dam is about the size of 38 swimming pools. To estimate the backwater range for landslide dam accurately, SPOT satellite image recorded on 18, April, 2022 was utilized. In addition, the cut-fill tool built in BigGIS platform was used to evaluate the backwater area and volume by specifying the dam crest elevation. The backwater area will be identified when the area range drawn manually from satellite image is consistent with the area boundary delineated by fill tool as much as possible, as shown in Figure 3. Landslide dam geometric data are listed in Table 1.



Photo provenance: https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2022502N04M1

Figure 2. The news report for landslide dam in upper Feng-Ping stream watershed



Figure 3. The backwater area identification for landslide dam. In left figure, satellite image on 18, April, 2022 was selected to identify backwater range; in right figure, the cut-fill tool is utilized to estimate the backwater area and volume.

發表 3　Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan.

Table 1. The landslide dam data

Backwater area(ha)	Backwater volume(m^3)	Dam crest elevation(m)
2.44	123,000	637

2.3 Precipitation boundary condition

In this study, Hec-Ras model was used to simulate the two-dimensional flow of landslide dam breach due to a 24-hours rainfall event. For precipitation boundary condition, a 24-hours storm for seven return period were designed, as shown in Figure 4.

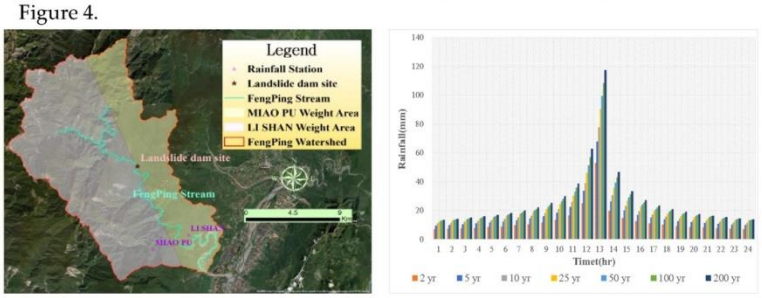


Figure 4. A 24-hours storm design for return period, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200yr. In left figure, the area weights of MIAO PU and LI-SIIAN rainfall stations were analyzed by Thiessen polygon method. In right figure, the rainfall intensity- Horner Equation was used to design a 24-hours storm.

2.4 Dam breach parameter settings

For dam breach problem, field data for dam geometry, dam-breach formation time, and dam failure mode are difficult to be observed. In practice, we focus on the movement of water accumulated behind the dam after dam breach and evaluate the possible damage to the downstream residents. Therefore, overtopping is assumed rather than piping in dam failure mode. Dam breach formation time is set to 0.5 hour. Initial water stage behind the landslide dam is 637 meters as the same value as dam crest elevation written in table. 1, section 2.2.

2.5 Model scenario simulation

Two scenarios were simulated. First, to simulate the flow path of water accumulation behind the landslide dam during the dam breach. Second, to simulate the downstream inundation range for rainfall induced dam breach.

3. Results and Discussion

In first scenario simulation, after the dam breach, the 123,000 cubic meters water will flow 2.25 kilometers to the downstream. There are still 14.6 kilometers far away from the downstream villages. In second scenario simulation, the downstream villages will be inundated up to 3 meters due to a 24-hours storm event, as shown in Figure 5. The inundation depth also is displayed on Google Earth, as shown in Figure 6. We inferred that why the landslide dam breach induced by rainfall causes severe damage to the downstream villages might be related to larger runoff because of the large basin area. Also, the villages are closer to the stream bank.

發表 3 Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan.

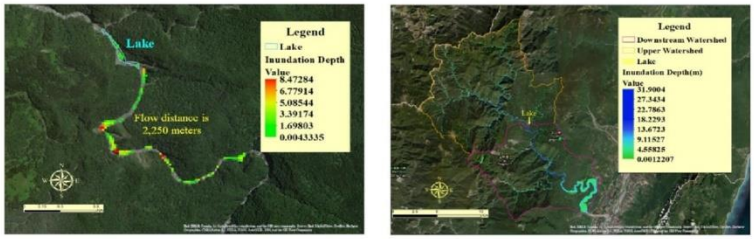


Figure 5. HEC-RAS 2D dam breach simulation. The left figure shows the flow inundation depth after the landslide dam breach. The right figure shows the flow inundation depth with a 24-hours storm for 200-year return period.



Figure 6. The left figure shows the inundation boundary nesting in Google Earth. The right figure shows the inundation vision from street view.

4. Conclusions

Evaluating the damage of landslide dam breach to the downstream livings is a difficult work due to lack of the field data. However, it is possible to identify backwater range of the landslide dam quickly by using satellite image and cut-fill tool built in BigGIS platform. In addition, by using HEC-RAS 2D dam breach model, the backwater flow after the dam breach could be predicted and evaluated the possible influence area. Based on the simulation results, the influence area of flooding is only 2.25 kilometers. It is still 14.5 km far away from the downstream villages. More importantly, we should pay attention to the damage of the landslide dam breach induced by rainfall events rather than the lake flow of the landslide dam breach in the Feng-Ping stream watershed.

References

1. J. S. Becker, D. M. Johnston, D. Paton, G. T. Hancox, T. R. Davies, M. J. McSaveney, and V. R. Manville., 2007. Response to Landslide Dam Failure Emergencies: Issues Resulting from the October 1999 Mount Adams Landslide and Dam-Breach Flood in the Poerua River, Westland, New Zealand. Natural Hazards Review. ASCE.
2. Hai-mei Liao, Xing-guo Yang, Fu-gang Xu, Jia-Wen Zhou. 2018. A fuzzy comprehensive method for the risk assessment of a landslide-landslide dam. Environmental Earth Sciences.
3. Using HEC-RAS for Dam Breach Studies, August 2014, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

發表 3　Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan.

2022 中華水土保持學會研討會

iPhone 生成數位孿生於水土保持工程之應用性探討

李哲宇[1][2] 莊承穎[1][2] 陳振宇[1] 高百毅[1]

摘　要　近年「數位孿生」概念興起，其中三維建模係為重要的基礎，並廣泛應用於不同產業，土木工程界已開始利用此項技術於資料治理、工程規劃與設計。惟受限建置數位孿生的儀器昂貴與攜帶不便，使用上尚未普及。自從美國蘋果公司在 iPhone 中加入 LiDAR 功能後，大大地降低產製數位孿生的技術門檻，各行各業並積極開發與嘗試各種 APP 功能。本研究以 iPhone 內建 LiDAR 功能，針對水土保持工程進行掃描，建立數位孿生模型，並利用傳統測量工具，分析與檢驗水土保持工程的尺寸、體積，將數位孿生技術應用於防災工程。結果顯示，位於地形陡峭、人力不易到達的水土保持工程場址，以 iPhone 內建 LiDAR 功能進行構造物掃描，可發揮成本低、攜帶便利與即時視覺化的優點，且量測成果亦可滿足精度要求。

關鍵詞：數位孿生、iPhone LiDAR、防災

Discussion on the application of Digital Twin in soil and water conservation engineering facilities by iPhone generated

Che-Yu Li[1][2]* Cheng-Ying Chuang [1][2] Chen-Yu Chen[1] Bai-Yi Kao [1]

Abstract　In recent years, the concept of "Digital Twin" has been introduced, and applied in many fields extensively. In Civil Engineering, this technique has been adopted in data management, engineering planning and designing. However, it is not used popularly due to expensive instruments and inconvenient carryings. Since light detection and ranging(LiDAR) has been equipped in iPhone, the product of Apple, it is effectively to lower the threshold of Digital Twin techniques. It becomes faster and convenient. Various applications (APP) have been developed and tested in different kinds of industries. Therefore, this study use LiDAR equipped in iPhone to scan the engineering of soil and water conservation, and try to construct a Digital Twin model. In addition, traditional measurement tools were used to measure and analyze the geometric information of the engineering. We intend to apply Digital Twins technique in the field of disaster prevention engineering. The results show that as using LiDAR equipped in iPhone to scan the structures located on steep terrains and the sites where hard to arrive, there are several advantages such as low cost, convenient carrying, real time visualization, and fulfill requirements of accuracy.

Keyword: Digital Twin, iPhone LiDAR, Disaster Prevention

[1]財團法人農業科技研究院，*通訊作者 E-mail:asdfghj544@mail.swcb.gov.tw
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C
[2]行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

發表 4　iPhone 生成數位孿生於水土保持工程之應用性探討

2022 中華水土保持學會研討會

應用二期數值高程模型快速評估不安定土砂分布熱區

林宥伯[1][2]陳振宇[1] 李哲宇[1][2] 高百毅[1]

摘　要

2009 年莫拉克颱風重創中南部山區，初估山區約產生 12 億方土砂，其中多數仍堆積於坡面或上游河道，形成不安定土砂，嚴重影響下游住戶及公共設施的安全，因此如何掌握其土砂量體，將是防災上的重要環節。過往受技術限制，難以大範圍、高頻率的調查及掌握不安定土砂的量體及分布情形，受益於 Light Detection And Ranging 技術成熟（光達，或稱 LiDAR），2009 年後，臺灣已完整建立二期解析度 1m 的高精度數值高程模型（DEM）。為快速掌握不安定土砂分布熱區，本研究應用兩期 DEM 資料相減結果，探討荖濃溪流域之不安定土砂分布情形。結果顯示，此法可初步快速掌握大範圍不安定土砂分布情形，但由於不同時期 DEM 品質有落差等因素，在誤差及雜訊上，仍有精進空間。

關鍵詞：數值高程模型、不安定土砂、玉穗溪

Apply Two Period Digital Elevation Models in Rapid Assessment of Hot Area where Unstable Slope Sediment Distributed

Yu-Po Lin [1][2]* Chen-Yu Chen[1] Che-Yu Li[1][2] Bai-Yi Kao [1]

Abstract In 2009, Typhoon Morakot causes widespread devastation across central and south mountain area of Taiwan. There are about 12 hundred million m^3 sediment generated in mountain areas due to this typhoon event. However, most sediment yields still deposited in failure slope or upstream channels. This sediment formed from failure scars might be transported and cause severe damage to the downstream habitant and infrastructure. Therefore, for disaster prevention purpose, it is important to clarify the total sediment yields from these slopes. In the past, it is difficult to investigate landslide areas widely and frequently, and then to obtain the sediment distribution and yields due to the technique limitation. Fortunately, with the mature of the remote-sensing technique, such as light and detection ranging (LiDAR), one meter digital elevation model with high resolution after 2009 in Taiwan were produced. In order to identify the hot zone where the sediment yields generated from unstable slope area quickly, in this study, two different period DEM data were taken to be subtract to obtain the sediment distribution from these slopes in Laonong River. The result shows that this methodology is suitable to identify the distribution of large range, unstable slope areas quickly. However, many errors and noise data still exist and need to be filter out due to inconsistent production quality of different periods of DEM.

Keyword: *Digital Elevation Model、unstable sediment、Yusui River*

[1]財團法人農業科技研究院，*通訊作者 E-mail:unknow@mail.swcb.gov.tw
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C
[2]行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

發表 5　應用二期數值高程模型快速評估不安定土砂分布熱區

應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 2022 年基隆槓子寮路土砂災害案例

林宥伯[1,2*] 陳振宇[2] 莊承穎[1,2] 高百毅[2]

[1] 財團法人農業科技研究院，300-110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號。
[2] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。
*通訊作者，電子郵件：negator.grave@gmail.com。

摘要

山區降雨促崩之土砂常進一步形成土石流，因其反應時間短，對民眾威脅極大。為進一步掌握此類災害之特性，透過數值模擬為常用之方式。本研究以日本京都大學開發之 iRIC Morpho2DH 免費版土石流模擬軟體，採固液兩相流模式，進行土石流事件模擬，並以 2022 年 2 月 23 日 18 時發生於槓子寮的土砂災害事件為例，完整呈現崩塌後土砂流動與堆積過程。模擬結果顯示，在土石流之扇狀堆積影響範圍上，模擬結果與事件結果相近，惟於流動段近上游處之堆積形式與災後 UAV 空拍建模之地形略有差異，推估應與回填土樣之參數設定，以及現場植被條件之影響有關，後續於模擬參數上仍有調整空間。

緒言

降雨誘發的淺層崩塌不僅可能直接導致土石掩埋房舍、道路或公共設施等災情，其土石如堆積於溝谷、坑溝且遭遇豐沛降雨時，亦可能造成土石流等二次災害擴大災情。為進一步掌握此類土石流災害之特性，許多研究常透過數值模擬方式估算土石流的流速、深度、流動路徑與影響範圍，並據以評估民眾可反應時間、疏散避難範圍路線規劃、避難收容處所位置規劃等。例如，Takebayashi et al. (2020) 曾應用 iRIC Morpho2DH 模式(Nelson et al. 2016)，模擬 2014 年 8 月 20 日，日本廣島市因降雨造成的土石流事件，國內亦有使用該模式應用於 2016 年 9 月莫蘭蒂颱風期間紅葉村土石流事件模擬(郭秉軒、馮正一，2020)。由上述案例研究結果顯示，iRIC Morpho2DH 可以有效模擬土石流深度、流動範圍、流速、動能方向等，並將模擬所得到的移動時間與範圍，進一步應用於防災規劃等重要工作。本研究嘗試使用 iRIC Morpho2DH 模式，探討 2022 年基隆槓子寮路填方區崩塌並引致土石流事件，模擬回填土體於飽合狀態下，土石流之流動深度、速度、時間、侵蝕與淤積過程，並配合災害現場照片及災後隔日 UAV 空拍與三維建模成果，進行模擬結果之比較與分析。

材料與方法

1. 研究區域與地形資料

本研究案例為 2022 年 2 月 23 日 18 時發生之回填土崩塌事件，地點位於基隆市信義區槓子寮 (TWD97：328313, 2781855)，坡地土壤屬石坑山系粉質壤土，邊坡無水系經過。本研究使用 2015 年內政部數值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM)作為災前地形，災後地形則使用水土保持局臺北分局於 2022 年 2 月 24 日以 UAV 空拍產製之數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)，並以此二者進行崩塌與堆積區土方量體估算，且將災後 UAV 空拍產製之正射影像作為模擬成果比較之底圖。依據災前及災後數值地形比對，崩塌最大深度約 25 m，崩塌及堆積區面積約 2 公頃，初估土砂量約 79,000 m^3(圖 1)。

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例

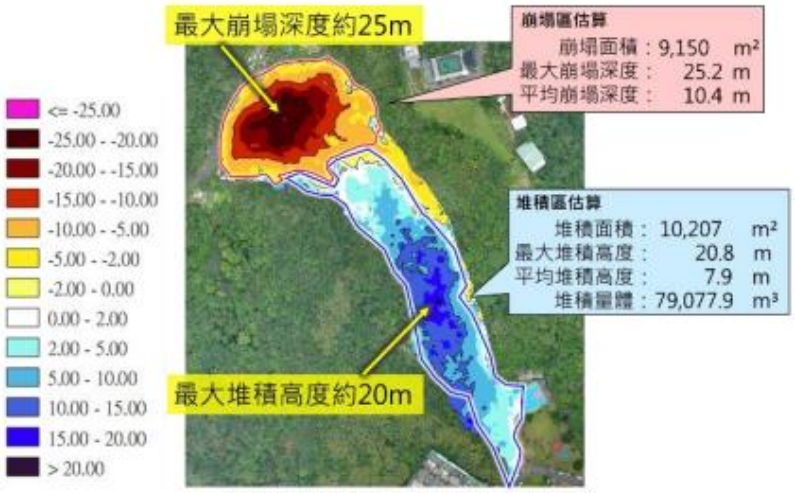


圖1.災後崩塌區與堆積區土砂量體估算。

2. iRIC Morpho2DH模式

iRIC(International River Interface Cooperative)係由日本北海道大學 Yasuyuki Shimizu 教授和美國地調所查 (USGS) Jonathan Nelson 博士於 2007 年創立，其目的是開發一個名為 iRIC 的免費軟體平台。最初係以河道流量分析為主，目前擴展到洪水預測、降雨徑流、海嘯、土石流模擬等。其中，iRIC Morpho2DH 模式是由日本京都大學 Hiroshi Takebayashi 教授開發，為一用於模擬土石流流動與地形動力學的程式，此模式可模擬坡地因崩塌進而產生土石流的運移堆積過程，其模擬流程如圖2。其中，由於本案例發生時，鄰近之基隆雨量站自2022/1/1至2022/2/24零時止，累積已高達1,237 mm，幾逾年平均雨量3,055 mm 之40%，且2022/2/23 17:00~19:00之時雨量僅為1~3mm，故本研究假設崩塌土體係為飽和狀態直接轉換成土石流，不計降雨逕流影響。模式所需參數、設定原則，以及本研究所使用之參數詳如表1 。



圖2. iRIC Morpho2DH 模擬流程圖

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例

表1.本研究使用之模式參數設定說明

案例參數設定		
基本假設	MaxErosionDepth	使用 BigGIS 參考 1979 年~2022 年航遙測影像、農業試驗所土壤資料平台、1986 年臺北縣-基隆市暨台北市山坡地土壤調查報告、災後空拍之裸露面。參考槓子寮附近為石坑山系，崩積土為大宗，設定最大土砂侵蝕層為 0.5m。
	地表植被	使用 BigGIS 參考 1979 年~2022 年航遙測影像、前述設定之土壤深度。假設植生為小灌木類，設定保守植被高度 1m，輔助地表粗糙度模擬。
	計算底圖	2015 年內政部數值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM)。
	計算網格	使用 2 倍模組最小計算網格 1.5m*1.5m，取 3*3m 網格做設定(實際尺寸 2.94*2.8m，151*51=7701 格)
Morph2DH 模組		**Calculation Conditions (Debris / Mud Flow)設定**
iRIC 設定	Sediment Concentration	因崩塌土體為飽和之回填土，考量事件前後時雨量參數，移動過程含砂量隨時間變化較小，參考手冊，設定為 Constant。
	Sediment Concentration Value	模擬土石流/泥流之泥砂濃度較高，參考手冊 0~0.4，設定為 0.4。
	Liquid Behavior Sediment Ratio	土石流/泥流中，細粒料之液相行為泥砂比，以材料中 0.2mm 或更細微粒料作為估算比。參考手冊，本研究使用 0.1、0.01、0.001 參數作為設定值。
	Minimum Flow Depth	最小流動深度限制，用以穩定計算結果，單位 m。參考手冊與估算，設定為 0.1m
	Internal Friction Angle	參考災後空拍、石坑山系紛質壤土、一般回填土之參數，φ 值為 18°~21°，參考手冊，設定為 21°。
	Laminar Flow Depth	考量土體移動過程及雨量條件，參考手冊，設定層流深度不隨時間變化，選定 Constant。
	Laminar Flow Depth Ratio	模組分類上，土石流特性之層深比為 1，泥流之層深比小於 1，層深比為 1 時由底部層流層之降伏應力控制，省略紊流層之紊流應力，但因土體飽和、災後地表水分布、考量土體假設參數不足以完全反映層流層特性，因此參考手冊設定為 0.95，保留紊流應力參與模擬。
	ResistanceCoefficient	參考手冊，設置阻力係數以穩定層流深度，本研究使用 140、240 參數作為設定值。
	Non-Erodible Height	本次模擬未使用不可侵蝕構造物、建築物等，設定為 Disabled。
	Bed Material	簡化參數為均值粒徑，並參考土壤分類以 2mm 上限，設定代表粒徑為 0.002m。
	Vegetation	搭配植被範圍，保守高度 1m，設定 Enabled。
註：其餘設定使用 Morph2DH 模組起始設定		

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例

結果與討論

經模擬測試，iRIC Morpho2DH 模式中影響流動範圍的主要參數為：液相行為泥砂比(Liquid Behavior Sediment Ratio, L.B.S.R)與阻力係數(ResistanceCoefficient, R.C.)，液相行為泥砂比越大，以及阻力係數越小，則模擬之土石流流動性越佳。前者代表土體細粒料較多，流體特性高，而阻力係數作為簡化之模型參數，可因應不同材料特性設置，以收斂、穩定流動深度。為測試此二參數於本案例之適用性，本研究分別使用 L.B.S.R. 為 0.1、0.01、0.001，以及 R.C.為 140、240，共 6 種組合進行模擬，並將土砂模擬流動 120 秒之過程中，各網格之最大堆積深度繪製如圖 3。此外，依據現場人員回報及災害現場照片顯示， 23 日晚間 19 時，堆積區外緣至籃球場西側籃框處，24 日災後空拍時，堆積區已延伸至籃球場中線處。其中，圖 3 上所標示之紅色虛線為 23 日晚間土砂堆積區之外緣；黃色虛線為 24 日上午 UAV 空拍時之堆積區外緣。

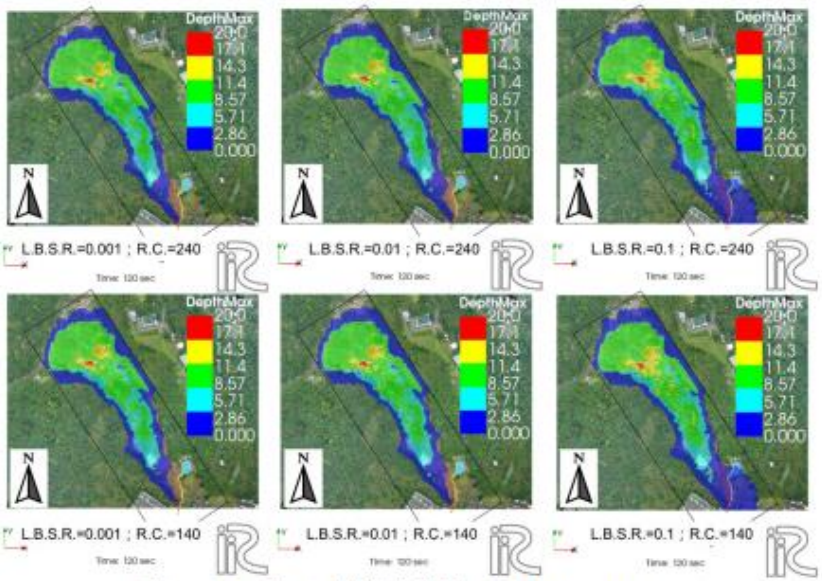


圖 3. L.B.S.R.及 R.C.參數組合模擬，DepthMax – Times = 120s

將圖 3 之 6 組參數模擬結果，對照災後正射影像堆積區之特徵與高程變化量，本研究最終選用與 2022/2/23 夜間土石流堆積區外緣即接近之參數組合(L.B.S.R.=0.01，R.C.=140)，進行後續流動過程之土石流移動深度、速度及方向等模擬，如圖 4 及圖 5。將模擬結果對照災前衛星影像及災後 UAV 空拍正射影像顯示，楨子寮路旁崩塌發生後，土石流流動路徑沿山溝地形往下，約莫 20 秒即抵達教忠公園外沿，地形轉折處最大堆積深度可達 10m。受坡度與轉折影響，20 秒後，土石流於流動段末端受地形二次轉折作用，速度與流向開始往教忠公園處移動，之後此處受地形凹谷與坡度趨緩影響，形成堆積區。

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆楨子寮路土砂災害案例

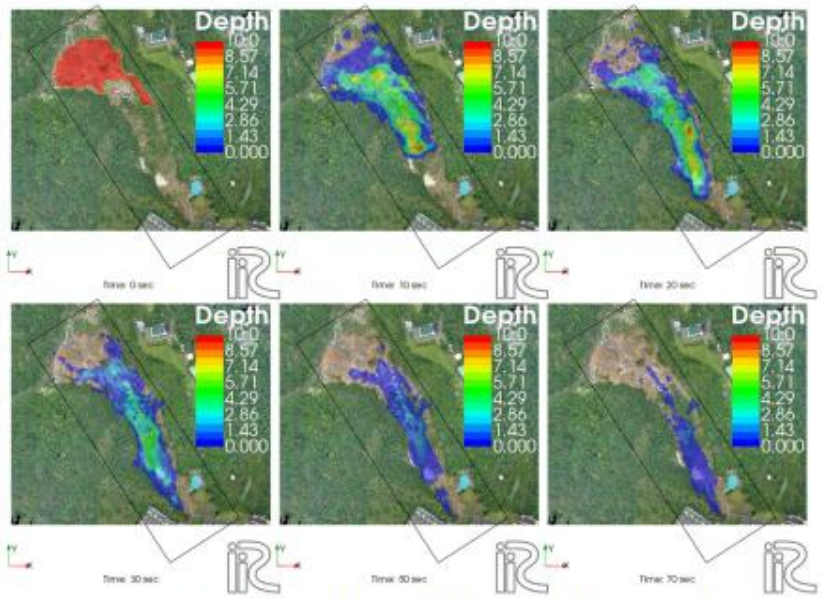


圖4.土石流流動過程及流動深度變化(L.B.S.R. = 0.01；R.C. = 140)

藉由程式模擬，可得出土石流移動深度、速度、方向等發生過程(如圖 5)，以及侵蝕/淤積分布、時間-影響範圍等，與災後影響範圍、堆積範圍結果相近。

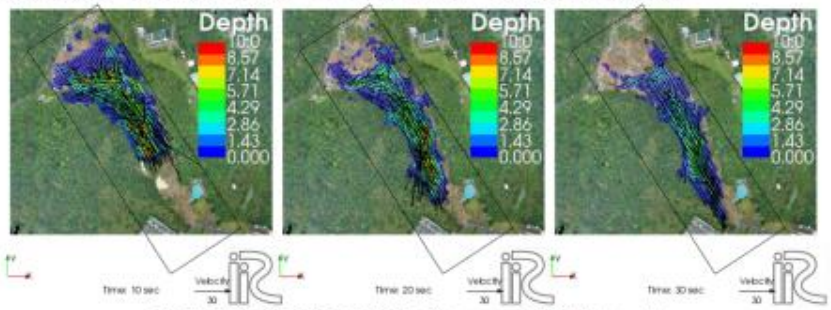


圖5.深度與速度分布(深度單位：m。速度單位：m/s)

對照模擬所得之土石流流動段過程，模擬之堆積區趨勢上與災後現地狀況相同，但進一步比較崩塌區至堆積區中間之土砂堆積深度，與應用前後期數值地形計算之結果相比，其土砂堆積深度仍略有差異。由災後 UAV 空拍所建置之三維立體模型觀察，此部分之差異可能受現地較為高大且聚集之喬灌木，植被未被土體沖散沒入，停留於流動段上方，因此於數值模型結果上，高度與模擬結果有差異。

由於臺灣土地 70%為山坡地，氣候與地形環境多元且地質年輕脆弱，在地狹人稠的情況下，山坡地之開發與在安全的前提下進行合理利用為無法迴避之問題。由過去的案例可知，不同的地質條件、土砂料源以及觸發因子，均可能導致不同型態的土砂

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例

事件，因此應用數值模擬程式估算不同條件、量體、材料所引致的不同土砂災害過程、影響範圍，將有助於防災規劃與疏散避難之應用。本研究應用 BigGIS 之歷年長期航遙測影像，判釋事件區域過去之開發行為、災害紀錄、植被條件、地質特性等，可提供數值模擬時評估相關參數設定及模擬成果驗證的重要參考資料。

此外，由於災害應變有其急迫性與時限性，一旦上游發生崩塌後，如何在最短的時間內快速完成是否會衍生土石流等二次災害之評估，以及發生後之土砂堆積等影響範圍，係為坡地防災上的重要議題。儘管目前國內外已有不少土石流模擬軟體，但有些需要高額的費用，有些則需另外設定降雨逕流與水文參數，操作上較為複雜。相對而言，iRIC Morpho2DH 模組可對土石流/泥流土體進行參數簡化，對其流動特性、層流交互作用，模擬出土砂災害過程，並能結合更多參數，如自訂粒徑分布之動床、均值粒徑等進行更細緻的侵蝕淤積模擬，評估區域土砂濃度變化等；同時，也可結合防砂壩、保全對象之構造物，設定不可沖刷數值，以進行治理工程前後，聚落安全與工程效益評估等工作。未來若能結合邊坡鑽探資料建立合適之地質模型，並設定更符合現地之土壤參數、更高頻率的定期光達數值地形等，將可進一步提高模擬成果，並有助於坡地防減災相關工作。

引用文獻

Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., Watanabe, Y., (2016). "The international river interface cooperative: public domain flow and morphodynamics software for education and applications." Advances in Water Resources 93, 62 – 74.

Takebaya, H. and Fujita, M. (2020). " Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model." Geosciences 2020, 10, 45, doi:10.3390/geosciences10020045.

Takebayashi, H. (2016) Morpho2DH Tutorial - Bed Material Load, An iRIC Project document.

水土保持局(2022) 111 年重大土砂災例最速報-基隆市信義區孝忠里。https://246.swcb.gov.tw//All-Files/PDF/01.111%E5%B9%B4%E5%85%B6%E4%BB%96-%E5%9F%BA%E9%9A%86%E4%BF%A1%E7%BE%A9-001(%E6%9C%80%E9%80%9F%E5%A0%B1).pdf

水土保持局(2022) 槓子寮崩塌事件 3D 模型。https://tech.swcb.gov.tw/3D/2022/gun_0224/App/#%2F

郭秉軒, 馮正一 (2020)運用 iRIC Morpho2DH 程式模擬 2016 年紅葉村土石流災害過程。大地工程學術研究討論會論文集(Geotech2020)

農業試驗所土壤資料供應查詢平台 https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map

臺灣省政府農林廳山地農牧局(1986)山坡地土壤調查報告-臺北縣、基隆市暨臺北市。

發表 6　應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 111 年基隆槓子寮路土砂災害案例

2022 中華水土保持學會研討會

以數值地形模型評估崩塌坡面土砂量體變化之研究

高百毅[1]* 林宥伯[1][2] 陳振宇[1] 蔡宗賢[1][2]

摘 要

臺灣地質年輕且岩層破碎，又受極端降雨與地震等因素影響，容易造成邊坡崩塌，導致坡面上形成大量土砂，進而影響下游居民生命財產安全。因崩塌後土方量體不易精確掌握，易造成災害管理時的盲點，實務上，常以「崩塌面積-體積」關係之經驗公式估算崩塌土方量體，然而，受限於地區之地形、地質等因子差異性，估算結果往往差異甚大。近年因無人機應用及三維影像建模技術發展成熟，可快速取得崩塌後坡地之空拍影像，並建立坡地之數值地表模型(DSM)。本研究以 2022 年 10 月 17 日尼莎颱風期間發生於汐止區鵠鵠崙的崩塌地為案例，透過不同時期坡面數值地形模型(DTM)的差異比較，快速評估坡面地形在時間與空間上的變化，有助於災後緊急處理對策擬定及作為後續工程治理規劃之參考。

關鍵詞：崩塌、數值地形模型、土砂量

The Study of Evaluating the Variation of Landslide Sediment Volume with Digital Terrain Model

Bai-Yi Kao [1]* Yu-Po Lin [1][2] Chen-Yu Chen [1] Zong-Xian Tsai[1][2]

Abstract Due to youthful and fragile geology in Taiwan, several landslides were induced by recent extreme rainfall or earthquake events. Large amount of sediment yields generated from landslide might cause the damage to downstream livings. As doing a disaster management, it might cause a blind spot due to landslide volume estimation imprecisely. In practical, the empirical formula, landslide area-volume relation, was often adopted to estimate the landslide volume. However, due to differences in terrain, geology and other regional characteristics, to calculate accurately the actual sediment volume is a hard work. In recent years, due to the mature development of UAV techniques and three-dimensional image construction technology, it is possible to obtain aerial images quickly after land sliding and to establish a digital surface model (DSM). With two periods DEM and DSM subtraction, the elevation difference can assess the terrain spatial and temporal changes after land sliding. It is helpful to draw up the emergency treatment strategies and to provide a reference for post engineering and management planning.

Keyword: landslide, digital terrain model, the volume of collapse sediment

[1]行政院農業委員會水土保持局，*通訊作者 E-mail:baiyi96@mail.swcb.gov.tw
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2]財團法人農業科技研究院
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

發表 7 以數值地形模型評估崩塌坡面土砂量體變化之研究

應用多時期正射影像於大規模崩塌潛勢區變形量判釋

-以桃園復興 T002 為例

莊承穎[(1)(2)]、施佩昱[(1)(2)]、陳昭岑[(3)]、黃奉琦[(4)]、陳振宇[(1)]

(1) 行政院農業委員會水土保持局 技術研究發展小組
(2) 財團法人農業科技研究院
(3) 中央研究院地球科學研究所
(4) 中原大學土木工程系

儘管接觸式監測儀器可直接且持續量測地表變形狀況，但受限其監測點數量、設置位置之可行性、以及變形過大時可能破壞等因素，非接觸式監測成果亦具有重要參考價值。位於桃園市復興區之大規模崩塌潛勢區 (編號：桃園復興 T002)，自 2012 年開始發生滑動，根據長期監測結果顯示，該邊坡之變位速率於 2021 年初有加速的趨勢。本研究透過水土保持局建置之巨量空間資訊系統 (BigGIS) 於T002邊坡整合自 2018 年 2 月起，逾 50 期之無人航空載具 (Unmanned aerial vehicle, UAV) 拍攝成果，進行多時期正射影像的地表變形特徵判釋，並探討其邊坡地表變形量與雨量變化之關連性。最後，結合現地調查、室內判釋以及透過人工構造物的檢核成果，瞭解該大規模崩塌滑動體之活動性。

經由多時期正射影像判釋及時間序列顯示，該邊坡之日平均變形量於 2021 年 2 月起明顯增加。然觀察其地表變形速率變化之時間點與雨量事件之間，似無明顯相關性。最後，藉由現地調查檢核，7 月以後其邊坡地表變形雖有減緩，但仍持續向坡趾方向滑動。本研究所使用之 BigGIS 平台，已提供逾 8 萬幅之歷年衛星、航照及 UAV 等航遙測影像，除可應用於多時期正射影像判釋，亦可作為後續相關研究之基礎。(桃園復興 T002 於 BigGIS 平台的影像整合連結 ：https://gis.swcb.gov.tw/map/?leftmenu_PID=Landslide_P6)

關鍵字：大規模崩塌、BigGIS、UAV 正射影像、現地調查

發表 8　應用多時期正射影像好大規模崩塌潛勢區變形量判釋-以桃園復興 T002 為例

Applied the Multi-Temporal Orthoimages interpreted the Displacement of Potential Large-scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan

Cheng-Ying Chuang[1, 2]、Pei-Yu Shih[1, 2]、Chao-Tsen Chen[3]、Feng-Chi Huang[4]、Chen-Yu Chen[1]

(1)Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, (2)Agricultural Policy Research Center, Agricultural Technology Research Institute, (3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, (4)Department of Civil Engineering, Chung Yuan Christian University

Although the contact monitoring could measure the deformation immediately and continuously, some factors may limit the achievements such as the monitoring points, the installation location and the damage occurred. Thus, the non-contact monitoring has more certain reference value than contact monitoring. The potential large-scale landslides (Slope number T002) had started to displace where located in Fuxing Taoyuan since 2012. According to the long-term monitory results, the displacement rate has accelerated at the beginning of 2021. For this reason, this study operates the Big Geospatial Information System (BigGIS) build from SWCB which captured more than 50 times of UAV orthoimages, and used those multi-temporal orthoimages of T002 to interpret the preliminary landslide surface features, also exploring the relevance of displacement rate and rainfall events. Moreover, the study integrates the field trip, image analysis and structure inspection to comprehend the activity of landslide.

From the multi-temporal orthoimages and time series analysis, it can be seen that the average of daily displacement has accelerated in February. However, the results indicate the relativity between rainfall and average daily displacement is not obvious. Even though the displacement rate has retarded in July, activates and expands are still continuing to the slope toe. It is also worth noting that BigGIS stores and supports the great quantity of completely aerial photographs, satellite imageries, UAV images and historical relative remote sensing. Consequently, this study applies the BigGIS to interpret the orthoimages of potential landslide and expect the various images could be the basis and references for the relative researches. (The information link of BigGIS for T002: https://gis.swcb.gov.tw/map/?leftmenu_PID=Landslide_P6)

Keywords:Large-scale Landslide, BigGIS, UAV Orthoimages, Field Trip

發表 8　應用多時期正射影像好大規模崩塌潛勢區變形量判釋-以桃園復興 T002 為例

以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌－以基隆槓子寮崩塌為例

莊承穎 [12]*、陳振宇 [2]、詹婉妤 [2]

[1] 財團法人農業科技研究院，300110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號
[2] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。
* 通訊作者，E-mail: cyc0109@mail.swcb.gov.tw。

摘要

長延時降雨導致土體孔隙水壓上升，往往造成崩塌等災害，惟多數邊坡穩定分析模式，無法完整呈現降雨入滲、孔隙水壓變化與臨界滑動面等耦合分析過程。2022 年 1 月 1 日 0 時至 2 月 24 日 0 時基隆地區連續降雨數十日，累積雨量達 1,237 mm，已逾年平均雨量 3,055 mm 之 40%，並造成基隆市信義區槓子寮山區崩塌事件。本研究以 2022 年 2 月 23 日 18 時發生於槓子寮的長延時降雨促崩事件為例，以 IRIS (Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability model) 模式進行降雨、入滲現象及邊坡穩定分析模擬，完整呈現各階段土體孔隙水壓變化情形，並自動判定臨界滑動面位置及崩塌時間。模擬結果顯示，IRIS 在崩塌時間之模擬結果與實際崩塌時間相近，惟崩塌規模略小於災後 UAV 空拍成果，推測過程中可能有多次崩塌之現象，但模擬於第 1 次崩塌發生時即停止。

緒言

發生崩塌等地質災害的原因，可分為地質、地形等內在基因與降水、地震等外在誘因二類。而地質構造的探勘，大多費時且價格昂貴。許多研究指出地層中水份的流動，會影響坡面的穩定性，因而應用水文地質學 (Hydrogeology) 分析地面下的地質構造，如地下水或降雨-入滲-逕流之關係。部分研究因考量資料取得之便利性，針對降雨與逕流的變化資料進行研究分析。如恩田裕一等人 (1999) 嘗試使用 4 年半的觀測資料，由降雨-逕流之關係建立崩塌預警系統。然而，研究或文獻較少對於降雨-入滲-逕流與崩塌規模、時間之具體關連性進行探討。

現地觀測對於地質研究具有重要意義，惟實務上易受限於現地環境或人員危害性之限制。若能先以數值模擬方式初步掌握相關變因之關聯性與其變化趨勢，對於崩塌或相關土砂災害的後續研究有莫大助益；Hopp and McDonnell (2009) 曾將坡面坡度、土壤厚度、雨場規模及基岩滲漏性設為變因，配合現地實測資料，以有限元素法模擬在坡面尺度下土壤水分移動與逕流生成之影響。

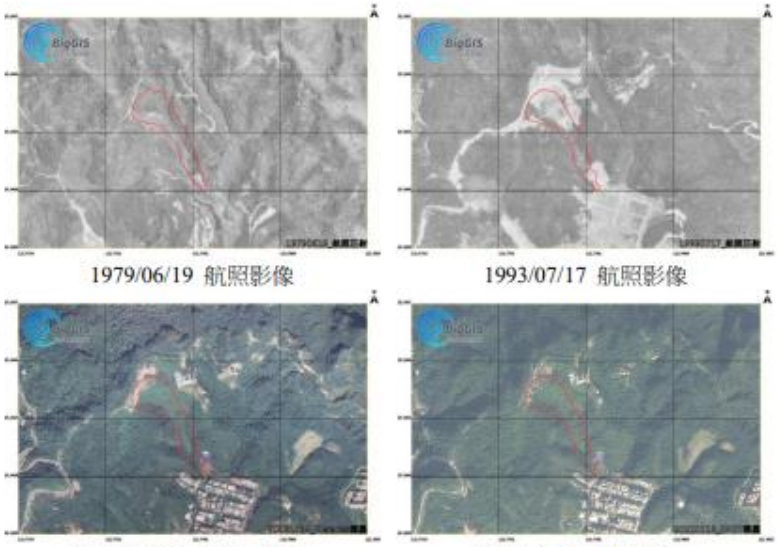
本研究藉由數值模擬方式，探討 2022 年初基隆槓子寮崩塌事件，模擬長延時降雨對土體含水量、孔隙水壓變化與崩塌時間及崩塌規模之分析。

方法

一、研究區域與案例

本研究案例為 2022 年 2 月 23 日 18 時發生於基隆市信義區槓子寮之崩塌 (TWD97: 328313, 2781855)，該處崩塌之土方為回填土，且邊坡無水系經過。崩塌邊坡最高點海拔約 144 m，最低點海拔約 77 m，崩塌最大深度約 25 m，崩塌及堆積區面積約 2 公頃，初估土砂量約 79,000 m3。而崩塌邊坡坡型為凹挖型，平均坡度約 20 度，坡向朝向東南方。由水土保持局建構之巨量空間資訊系統 (BigGIS) 蒐集歷年航照及衛星影像 (圖 1)，顯示該地區於 1979 到 1993 年間曾有大型開發，且後續未設擋土牆，並於崩塌前作為廢棄物回收場使用。

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例



1979/06/19 航照影像　　1993/07/17 航照影像

2018/10/29_Pleiades 衛星　　2021/01/13_SPOT 衛星

圖 1、研究區域之歷年影像圖 (BigGIS)

二、地形資料

本研究使用 2015 年內政部數值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM) 作為災前地形，災後地形則使用水土保持局台北分局於 2022 年 2 月 24 日以 UAV 空拍產製之數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 及正射影像 (圖 2 左)。為選定崩塌最深處作為崩塌代表滑動面，本研究使用災後 DSM 製作坡向圖 (圖 2 右)，並選定兩個坡向相對處作為地形剖面位置，據此於災前 DEM 及災後 DSM 製成間隔 5 m 地表剖面線 (Ground Surface)，以做為後續模擬使用之地形資料。

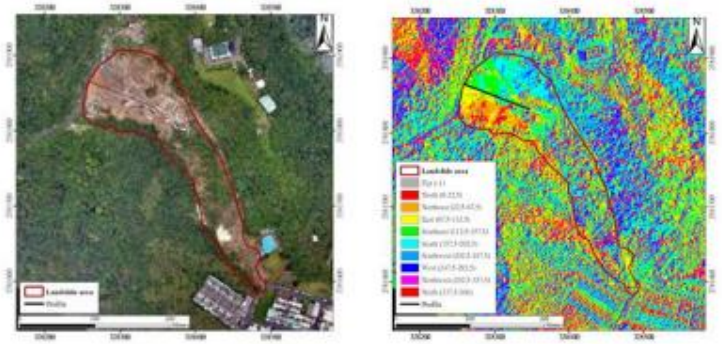


圖 2、本研究地形剖面線位置

三、雨量資料

本研究採用距離案例約 3.8 km 之基隆雨量站 (站號：466940) 進行雨量分析，雨量資料頻率為 10 分鐘 1 筆。自 2022 年 1 月 1 日 0 時至 2 月 24 日 0 時，其累積雨量為 1,237 mm (如圖 3)，約占 1960 年至 2019 年之年平均雨量 3,055 mm 的 40.5%。

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例

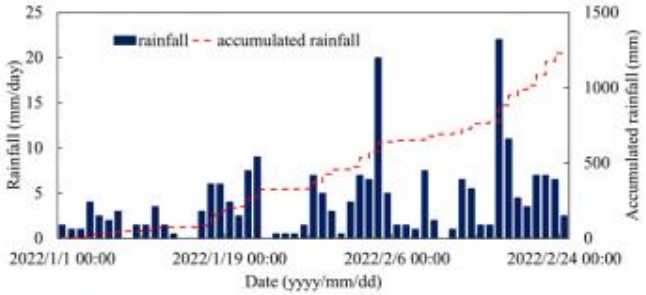


圖 3、基隆雨量站 2022 年 1 月 1 日至 2 月 24 日之日雨量及累積雨量分布圖

四、整合式降雨-入滲-邊坡穩定分析模式

本研究使用 IRIS (Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability model) 模式進行降雨-入滲及邊坡穩定分析。此模式係由堤大三發展 (陳振宇等，2014)，整合降雨、入滲及邊坡穩定分析等多個模組，其理論與方式簡述如下：

(1)降雨-入滲模組

該模組係使用 3 維 Richard' s equation 來模擬土層之降雨-入滲過程中孔隙水壓變化，土壤水分特性曲線 (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) 則採用 Kosugi (1996) 所提出的 LN 模式 (Lognormal Model)，此模式係假設土壤孔隙半徑為對數正規分布，關係式具有高度非線性，不易有解析解，故 IRIS 模式使用有限元素法求解 (Tsutsumi and Fujita, 2008)。

上述由有限元素法求解之降雨-入滲分析結果，可計算出土層中每個有限元素法分析網格上之土壤孔隙水壓，此結果將被用來進行邊坡穩定分析之計算。IRIS 模式採用可分析任何形狀滑動面之簡易 Janbu 法進行計算，先將滑動土體分割成諸多垂直切片，再據以計算其應力平衡結果。

(2)臨界滑動面分析模組

IRIS 模式採用動態規劃法 (Dynamic Programming Method, DP) 結合變分法方式計算出安全係數最小之臨界滑動面 (陳振宇等，2014)。如前所述，本研究將設定 Fs<1 時坡面即發生崩塌，而所對應之滑動面即為臨界滑動面 (Critical Slip Surface)。

五、簡化坡面模型

為簡化分析，本研究採用三維之四面體元素建構有限元素法之分析網格。而在降雨入滲地表面之入滲率邊界條件方面，本 IRIS 模式假設地表層土體尚未飽和時，所有降雨均滲入土體；土體一旦飽和後，則降雨全數轉為地表逕流 (Surface Runoff)。此外，計算過程中，當表層土體之網格節點壓力水頭大於零時，則設定其為飽和狀態，先計算該節點所在之四面體元素朝向地表之通量 (Flux)，並將此通量值設為該處地面滲出之 Interflow 量後，再將該節點壓力水頭設為零。

六、模擬所用相關參數

本研究區域為回填土，無相關地質分層資料，故假設基岩面上方之土壤為均質，即每個土壤分層皆設為相同參數。然因現地未有實際取樣之土壤水分特性曲線相關研究或報告，暫依現場空拍影像之土壤特徵，參考一般森林土層的壤土參數作為設定，並對土壤凝聚力 C 值及土壤摩擦角 φ 值作多組測試 (C 值為 1.5~2.0 t/m^2；φ 值為 18˚~21˚)，找出模擬所得之崩塌發生時間及規模最接近現場狀況的參數值 (如表 1)。同時假設坡趾

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例

土層厚為 2 m，依地質圖上該處之位態資訊，設定不透水之基岩坡度為 6°。

表 1 2022 年基隆槓子寮崩塌模擬相關參數

Table 1 Hydraulic characteristics and soil strength of the soil of the slope in Keelung city, Taiwan

Hydraulic parameters	K_s	θ_s	θ_r	ψ_m	σ
	cm/s	m^3/m^3	m^3/m^3	cm	-
Surface	5.00×10^{-3}	0.645	0.398	-43.9	1.19
Middle	5.00×10^{-3}	0.645	0.398	-43.9	1.19
Lower	5.00×10^{-3}	0.645	0.398	-43.9	1.19
Soil strength	γ_{sat}		C		φ
	t/m^3		tf/m^2		degree
	2		2.0		19.11

七、土體內初始孔隙水壓設定及降雨-入滲-崩塌模擬

本研究為模擬自然情況下，坡面內土壤水份分布情形，並消除土體內不同起始孔隙水壓條件對後續模擬之影響，乃先設定所有坡面內全部土壤之初始壓力水頭均為 -0.01 m，再給予強度為 0.1 mm/h 之固定降雨，持續進行降雨-入滲模擬直至土壤內總含水量不再變動為止 (本案例為 600 天)。正式模擬階段，則採用 2022/1/1~2022/2/23 基隆雨量站之 10 分鐘雨量資料。

結果與討論

經測試，採用如表 1 之參數，該坡面之降雨-入滲-崩塌模擬之崩塌時間為 2022 年 2 月 23 日 17 時 50 分 (77,390 min)，與水土保持局重大土砂災例報告紀錄之實際發生崩塌時間 2022 年 2 月 23 日 18 時相近 (水土保持局，2022)。檢視 2022 年 1 月 1 日 0 時至 2 月 24 日 0 時之雨量資料，基隆地區連續降雨數十日，累積雨量達 1,237mm，而 IRIS 模式可完整模擬降雨過程中土壤含水量及安全係數 *Fs* 之變化 (如圖 4a)，當土體含水量逾一定門檻時，代表地下水位快速升高，進而造成安全係數 *Fs* 快速下降。其中 1 月 1 日 0 時之單位寬度土體含水量為 870.5 m^3/m，而 2 月 23 日 17:50 崩塌發生時，單位寬度土體含水量已升高為 952.9 m^3/m，亦即已上升約 9.5%，最終導致邊坡失穩造成崩塌。而圖 4b 顯示，模擬崩塌當下土壤含水量分布，以及發生崩塌時之臨界滑動面位置。

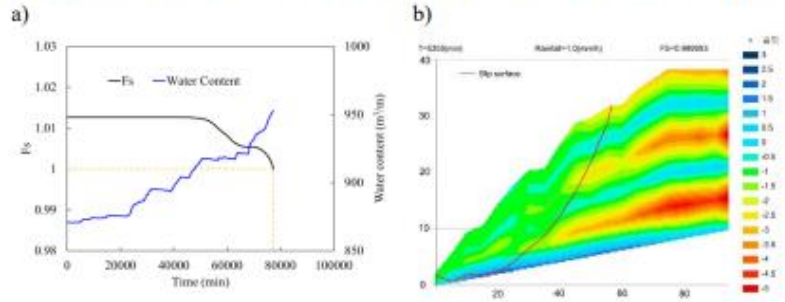


圖 4、IRIS 模擬結果。a) 土壤含水量與 Fs 關係圖、b) 臨界滑動面分析結果

為進一步比照模擬之崩塌規模與現地狀況之差異，本研究將模擬出之臨界滑動面與實際崩塌之前後期地形剖面進行比對 (圖 5)，顯示 IRIS 模式所模擬的崩塌規模

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例

(Calculated Slip Surface，紅色虛線) 較實際崩塌情況 (Observed Slip Surface，藍色實線) 小。推測研究區域於崩塌時可能發生多次崩塌，才達到坡面的穩定，惟 IRIS 模式之模擬於第 1 次崩塌發生後即停止計算。此外，根據陳振宇等人 (2014) 研究指出土壤摩擦角愈小，初次崩塌時規模愈大。本研究區域之崩塌土體係為回填土，目前尚無實際採樣之土壤參數可供模擬使用，因此本研究以經驗值範圍測試與崩塌時間及規模最接近的土壤凝聚力 C 值及土壤摩擦角 φ 值，後續如能取得現場採樣之土壤參數，將可進一步驗證模式之適用性。

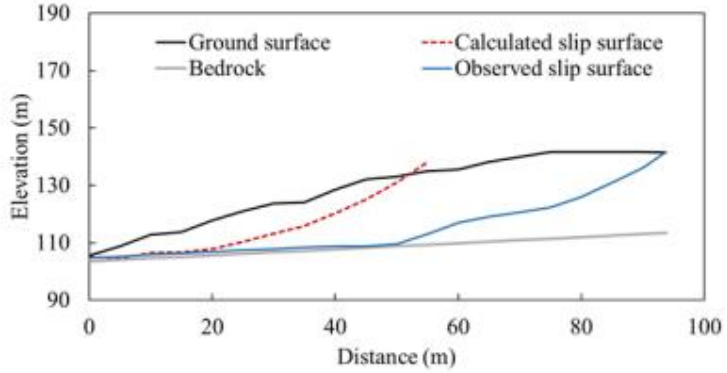


圖 5、臨界滑動面與崩塌前後之地形剖面

結論與建議

邊坡崩塌相對於其它類型的土砂災害發生機率較高，且其土砂堆積物易再衍生形成如土石流等二次災害。因此，邊坡之定期觀測及地形特徵變化之掌握係為邊坡安全管理上的重要議題。本研究所使用 BigGIS 內建之巨量且多時期衛星及航空影像，可提供目標研究區域之過去到現在的多時期影像，並探討該區域是否曾經歷大型開發或屬於相對脆弱的地質敏感區。長延時降雨導致土體孔隙水壓上升，往往造成崩塌等災害，惟多數邊坡穩定分析模式，只能分別模擬降雨-入滲後，再將其結果應用於邊坡穩定分析，無法完整呈現降雨入滲、孔隙水壓變化與臨界滑動面等耦合分析過程。IRIS 模式目前可同步進行降雨、入滲現象及邊坡穩定分析模擬，完整呈現各階段土體孔隙水壓變化情形，並自動判定臨界滑動面位置及崩塌時間，未來如能進一步擴充為 3 維模式，將有助於崩塌防減災工作。

引用文獻

1) 恩田裕一、小松陽介、辻村真貴、藤原淳一 (1999)，「降雨流出ピークの遅れ時間の違いからみた崩壊発生時刻予知の可能性」，砂防学会誌，51(5)，48-52。
2) 陳振宇、藤田正治、堤大三 (2014)，「基岩位置及土層特性對降雨逕流與大規模崩塌之影響」，中華水土保持學報，45(4), pp.243-256。
3) 水土保持局 (2022)，重大土砂災例 (2022)。(https://246.swcb.gov.tw/Achievement/MajorDisasters)
4) Kosugi, K. I. (1996). Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties, Water Resource Research,Vol. 32, No. 9,pp. 2697-2703.
5) Tsutsumi, D. and Fujita, M. (2008). Relative importance of slope material properties and

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例

timing of rainfall for the occurrence of landslides, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 79-89.
6) Hopp, L. and McDonnell, J. J. (2009). Connectivity at the hillslope scale: Identifying interactions between storm size, bedrock permeability, slope angle and soil depth., Journal of Hydrology, 376(3-4), 378-391.

發表 9　以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例

2022 中華水土保持學會研討會

不安定土砂潛勢快速評估法可行性之探討

莊承穎[1][2]* 陳振宇[1] 蔡宗賢[1][2] 詹婉妤[1]

摘　要　2009 年莫拉克風災後，山區仍有大量不安定土砂殘留於邊坡及河道上，如遇巨量降雨可能轉換為土石流等土砂運移形式並將危及到下游保全住戶及重要公共設施。然而，不安定土砂廣布於坡地集水區，其調查分析非常耗時費力。為加速不安定土砂災害管理之目標，本研究透過結合地文脆弱度指標、數值地形模型與台灣橋梁管理系統 (TBMS) 資訊，建立不安定土砂潛勢快速評估方法，快速找出「可能受集水區不安定土砂影響之高風險橋梁」，作為優先分析之目標。結果顯示，本研究能將橋樑之風險值做有效分類，且風險值分群與現勘情形相符，具一定參考性。

關鍵詞：不安定土砂、地文脆弱度、QPESUMS、TBMS。

Discussion on Feasibility of Rapid evaluation method for the potential of Unstable Sediment

Cheng-Ying Chuang [1] [2] * Chen-Yu Chen [1]　Zong-Xian Tsai[1] [2] Wan-Yu Chan [1]

Abstract　After typhoon Morakot in 2009, a large amount of unstable sediment remained on the slopes and riverbeds in the mountainous area. Roads, bridges, public facilities and settlements may be endangered when in case of heavy rainfall. However, unstable sediment is widely distributed in the sloping water catchment, and the investigation and analysis are very time-consuming. In order to speed up the management of unstable sediment disasters, this study establishes a rapid analysis method for the potential of unstable sediment by combining the physiographic fragility index, digital terrain model (DTM), and Taiwan Bridge Management System (TBMS) information, and quickly to find out "the high-risk bridges affected possibly by the unstable sediment accumulation" as the priority analysis target. The results show that this study classifies the risk of bridges effectively, and the risk is consistent with the in-situ investigation situation. In summary, the rapid analysis method of this study has a certain reference.

Keyword: Unstable Sediment, Physiographic fragility index, QPESUMS, TBMS

[1]行政院農業委員會水土保持局，*通訊作者 E-mail:cyc0109@mail.swcb.gov.tw
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2]財團法人農業科技研究院
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

發表 10 不安定土砂潛勢快速評估法可行性之探討

2022 中華水土保持學會研討會

臺灣歷史堰塞湖案例分析與探討

詹婉妤[1]* 陳振宇[1] 莊承穎[1][2] 李哲宇[1][2]

摘　要　台灣山區地勢陡峭、地質破碎，加上地震或颱風豪雨事件容易造成山區土石崩塌，崩塌之土體一旦於河道堵塞，極有可能形成堰塞湖。前人研究顯示，堰塞湖存在時間短則幾小時，長則數千年，若發生潰決將嚴重影響下游居民生命財產安全，實為防災應變重要之研究課題。本研究蒐集全臺灣 1862-2022 年共 38 處天然壩堰塞湖案例，參考文獻紀錄及利用衛星影像進行崩塌地及堰塞湖判釋，統計分析堰塞湖發生誘因及壽命，並進一步與全世界堰塞湖案例做比較。整體而言，降雨及地震為觸發坡面崩塌形成天然壩之主要誘發因子，約 80%之堰塞湖都是在形成後的第一年內潰決，與全世界研究堰塞湖誘因及壽命之趨勢相同。本研究蒐集整理的全臺歷年天然壩堰塞湖案例，可供未來堰塞湖相關研究參考及應用。

關鍵詞：堰塞湖、壽命、防災應變。

Case analysis and discussion of historical landslide dams in Taiwan

Wan-Yu Chan[1]* Chen-Yu Chen[1] Cheng-Ying Chuang[1][2] Che-Yu Li[1][2]

Abstract The mountainous terrain in Taiwan is steep and fragile geology, which is easier to cause landslides when earthquakes, typhoons, or heavy rain events happen. Once the sediment of landslides is blocked in the river, likely to form a natural landslide dam. Some researchers indicated the existence of a natural landslide dam is short as a few hours, long as thousands of years. If the landslide dam breaks, it affects the safety of life and property of downstream protected targets seriously, which is an important research topic in disaster prevention. This study collected a total of 38 cases of natural landslide dams in Taiwan from 1862 to 2022, and statistical analysis of the causes and lifespan of natural landslide dams is done from the interpretation of collapse area and natural landslide dams by satellite imagery and historical document. Moreover, this study compared with the cases of natural landslide dams around the world. In general, rainfall and earthquake are the main triggering factors for landslides that cause natural landslide dams indirectly, and about 80% of natural landslide dams break within the first year after formation. There is the same trend in research on the causes and lifespan of natural landslide dams in Taiwan and the world. In addition, this study collects the cases of natural landslide dams in Taiwan over the years, and it can be used for reference and application of related research in the future.

Keyword: landslide dam, life span, disaster response.

[1]行政院農業委員會水土保持局，*通訊作者 E-mail:abu026@mail.swcb.gov.tw
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2] 財團法人農業科技研究院
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

發表 11 臺灣歷史堰塞湖案例分析與探討

2022 中華水土保持學會研討會

應用 IRIC 模式模擬汐止鵠鵠崙崩塌土砂運動行為

蔡宗賢[1][2] 林宥伯[1][2] 陳振宇[1] 詹婉妤[1]

摘　要　111 年 10 月尼莎颱風侵襲北台灣，造成汐止區山坡地多處崩塌，以往被劃入山崩與地滑地質敏感區，編號為新北市-汐止區-D003 的鵠鵠崙地區，在本次颱風後發生局部崩塌，經利用災前 99 年與災後 111 年所建置之 1 米 DTM 成果相減，可計算崩塌面積約 3 公頃，其中崩塌區面積達 14,424m^2，堆積區面積達 14,885m^2，崩塌體積為 10.38 萬 m^3，堆積量體為 13.10 萬 m^3，平均崩塌深度達 7m，平均淤積深度達 8.8m，本研究進一步利用 IRIC 土石流二維模式進行模擬，配合前後期 DTM 所得之沖淤深度與體積變化，及蒐集尼莎颱風期間之降雨量，藉由合理之模式參數群設定，重現本次鵠鵠崙崩塌坡面上的土砂動態運動行為，並將藉由數值模擬，快速地掌握坡面上不同位置發生崩塌後，土砂影響範圍，以確保下游保全對象的安全。

關鍵詞： IRIC、DEM、崩塌地土方量、土石流、鵠鵠崙崩塌

Apply IRIC Model to Simulate the Dynamic Sediment Movement of Gugulun Landslide in Xizhi District, New Taipei City, Taiwan.

Zong-Xian Tsai[1] [2]* Yu-Po Lin [1][2] Chen-Yu Chen[1] Wan-Yu Chan[1]

Abstract　Several landslides were induced by typhoon NESAT in October, 2022 within the hillslopes of Xizhi district, New Taipei City, Taiwan. A local landslide on the sensitive landslide area where numbering D003 was found formed after this typhoon event. By subtracting the digital terrain model (DTM) before and after the landslide, the total landslide area is about 3 hectares; the erosion area is 14,424 square meters, the deposition area is about 14,885 square meters; the erosion volume is 10.38 ten thousand meters, the deposition volume is 13.10 ten thousand meters; the average erosion depth is 7 meters, and the average deposition is 8.8 meters. In addition, IRIC, two-dimensional horizontal debris flow model, was applied to simulate the sediment dynamic movement on the landslide slope. With reasonable model parameters input and landslide erosion and deposition information from DEM subtraction, we would like to use a numerical model to evaluate the impact area quickly after land sliding to make sure the safety of downstream livings.

Keyword: IRIC, DEM, Landslide Volume, Debris Flow, Gugulun Landslide

[1]行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2]財團法人農業科技研究院，*通訊作者 E-mail:zxtsai@mail.swcb.gov.tw
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

發表 12 應用 IRIC 模式模擬汐止鵠鵠崙崩塌土砂運動行為

附錄五 電子報彙整

➢ (一)BigGIS 離線圖資在手，野外調查沒網路也不怕

巨量空間資訊系統（Big Geospatial Information System, BigGIS）(圖 1) 整合了 1966-2021 間逾 10 萬幅的衛星等航遙測影像及逾 1,800 處的 UAV 正射影像，並同時結合全台 6 m 與 20 m DEM 產製的 H.O.S.T 地圖與 CS 地圖，使這些珍貴圖資能供使用者加值應用。隨水保局近年來的大力推廣，BigGIS 已成為許多單位不可或缺的實用工具！



圖 1、BigGIS 功能簡介

突破創新實用功能

水保局同仁因執行集水區調查規劃等業務常需要在山區作業，這些地方受限於設備及通訊的問題，常常無法流暢的使用網路或各項電子設備。因此 **BigGIS 提供了離線圖資下載 (GeoPDF/GeoTIFF 格式) 的功能**，提供給需要在網路通訊不佳地區使用的使用者，能在執行任務前，將該地區所需資訊事先下載於如手機或平板等內建 GPS 之行動裝置中，以滿足現地調查等工作需求。

因圖資使用版權限制，有關 BigGIS 離線地圖之製作與下載將分為以下二種狀況，分別進行功能介紹及操作教學：

(一) 一般使用者離線圖資下載 (非水保局人員)。

(二) 離線圖資 (原始畫質) 下載 (水保局人員)。

一般使用者離線圖資下載 (非水保局人員)

步驟一：開啟所需圖資

1. 巨量空間資訊系統 (點選進入)。

2. 點選「基礎圖層」或「圖資搜尋」找到目標圖資 (圖 2)。



圖 2、使用 BigGIS 瀏覽目標圖資

步驟二：開啟離線圖資產製工具

1. 點選「地圖輔助工具」。

2. 選取繪圖及分享工具之離線圖資產製 (圖 3)。



圖 3、開啟離線地圖產製工具

步驟三：選取目標區域並加至下載列表

1. 選取所需下載之目標範圍 (框選/螢幕範圍截圖)。

2. 選取後加到 GeoTiff 列表，即在右方顯示所下載之圖資範圍 (圖 4)。



圖 4、框選目標圖資並加入 GeoTiff 列表

步驟四：縮放所需目標區域細節並加至下載列表

1. 放大 (Zoom in) 所需較精細之區域，並再次框選後加入 GeoTiff 列表中 **(成果會以 Zoom in 後較精細解析度呈現)**。

2. 重複上述動作，可加入多處不同區域，或不同解析度之圖資進 GeoTiff 列表中。

3. 完成後點選合併 GeoPDF 下載 (圖 5)。



圖 5、框選不同區域或不同解析度圖資並合併下載

成果展示

按照上述簡單的四個步驟就能從 BigGIS 下載目標範圍的圖資，並產生有地理資訊的 GeoPDF，圖 6 中可以看出在黃框內之畫質係以 Zoom in 後較精細之解析度呈現，可提供相關業務需要細節時使用，以兼顧**可視範圍大**及**局部細節清晰**之需求。

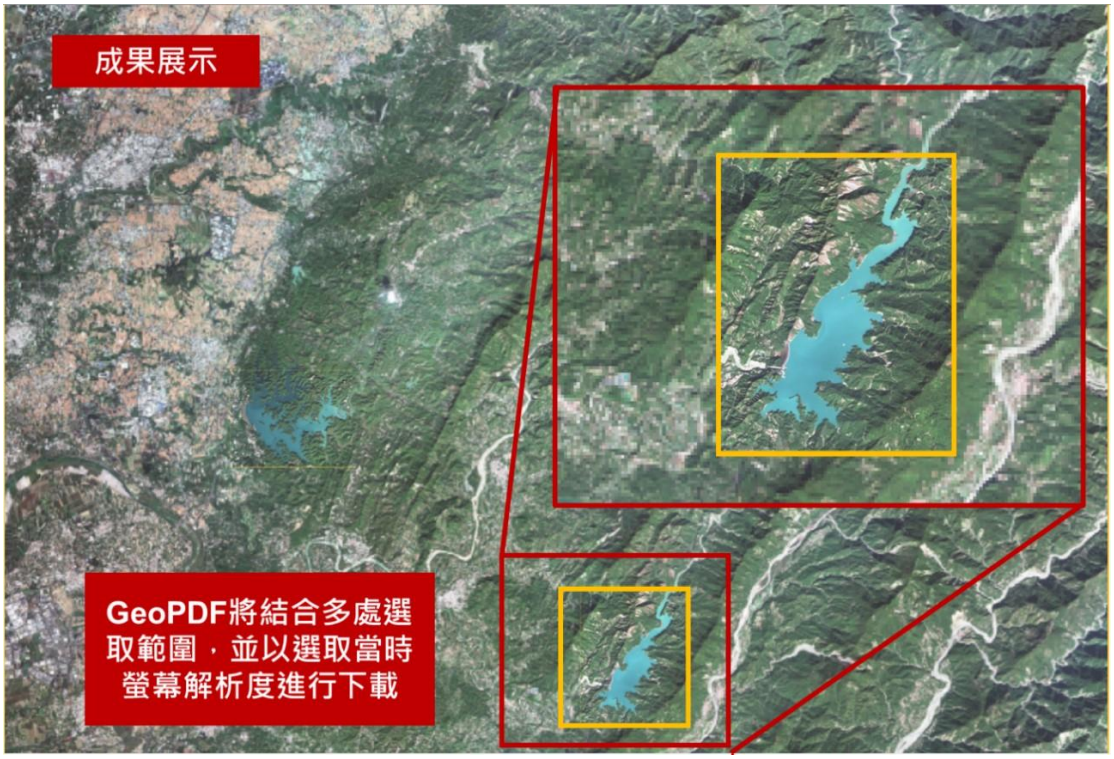


圖 6、一般使用者產製之離線圖資範例

離線圖資 (原始畫質) 下載 (水保局人員)

水土保持局同仁除可使用前揭方式下載離線圖資外，BigGIS 也提供更方便的原始畫質圖資下載的功能。同仁可直接框選面積小於 50 km^2 之原始圖資，而產製之圖資會直接透過**局內信箱**寄送給同仁 (圖 7)。

步驟一：開啟所需圖資

1. 巨量空間資訊系統。

2. 點選「基礎圖層」或「圖資搜尋」找到目標圖資。

步驟二：下載原始畫質圖資

1. 點選「地圖輔助工具」並選取繪圖及分享工具之離線圖資產製 (原始畫質)。

2. 選取所需下載之目標範圍 **(框選範圍不得超過 50 km^2)**。

3. 點選「申請圖資」，圖資製作完成後，會逕寄至同仁局內信箱。



圖 7、水保局內同仁產製之離線地圖操作

以原始畫質下載的圖資可直接套疊至相關 GIS 軟體 (圖 8)，但因其未經增揚等後處理程序，故影像的顯示在視覺上可能會有偏暗或色差影響，而一般使用者離線圖資下載的方式則無此問題。



圖 8、水保局內同仁產製之離線圖資範例 (未增揚處理)

行動裝置 App 應用 GeoPDF

GeoPDF 可透過 App 放入行動裝置中隨身攜帶，除了作為離線圖資使用外，還能在地圖上顯示自己目前所在位置、標示地圖或顯示指定點之坐標。Android 及 IOS 系統可以下載 Avenza maps 這套 App (試用版可存 3 幅圖資)，只要載入 BigGIS 所產製的離線圖資 (GeoPDF)，就可以在上面進行標記以及查看詳細資訊喔 (圖 9)！ **註：有關 GeoPDF 的介紹與說明，可參考「立體地形圖 H.O.S.T MAP 及 CS MAP 判釋參考指引」。**



圖 9、手機 APP 開啟並標記 GeoPDF 範例 (以 Android 版為例)

相關網站

1. 巨量空間資訊系統（Big Geospatial Information System, BigGIS）

2. Avenza maps

3. 水土保持局 (2020)，立體地形圖 H.O.S.T MAP 及 CS MAP 判釋參考指引。

4. 技研小組電子報 (原來 QGIS 也能載入 BigGIS 超高解析度的 UAV 正射影像！)

5. BigGIS 離線地圖操作影片 (一般使用者版)

6. BigGIS 離線地圖操作影片 (水保局同仁版)

7. BigGIS 其他功能操作教學 (技研小組 YT)

➢ (二)如何找出蘊藏地下水的山區供水潛能場址?

氣候變遷下之台灣水情

隨著氣候變遷，極端天氣似已成常態，為使水資源能永續利用與發展，近年來許多國家，正積極尋找替代性水資源，企圖解緩水資源匱乏問題，強化多元水資源運用。儘管台灣年平均降雨量達 2500 毫米，降雨量豐沛，然在時間分布上卻極不均勻；一般而言 11 月至 4 月為枯水期，5 月至 10 月為豐水期，尤其是臺灣中南部的降雨特別仰賴颱風，但 2020 年竟創下 0 颱風登陸的罕見紀錄，並造成 110 年上半年嚴重缺水問題。

影響台灣山區地下水分布的因素

台灣部分山區部落目前僅能仰賴簡易自來水設施供水，惟常因豪雨或乾旱季，造成飲用水水質與水量無法負荷民生需求。為找出蘊藏地下水的山區供水潛能場址，過去常以地形特徵進行探尋，然山區地下水分布除受地形影響外，尚會受到水文地質架構控制，亦即地下水會依不同地形與地質特性，分布於地表下不同深度及位置，其中又以岩層孔隙與裂隙介質影響山區地下水分布甚鉅。

為進一步掌握臺灣山區水文地質特性與地下水蘊藏潛能，中央地質調查所自2010 年至 2017 年於臺灣中南段山區，選定不同地形與地質單元，建立了 104 處水文地質鑽探試驗，以及 72 處抽水試驗場所 ，作為後續評估與尋找山區供水潛能場址之參據。

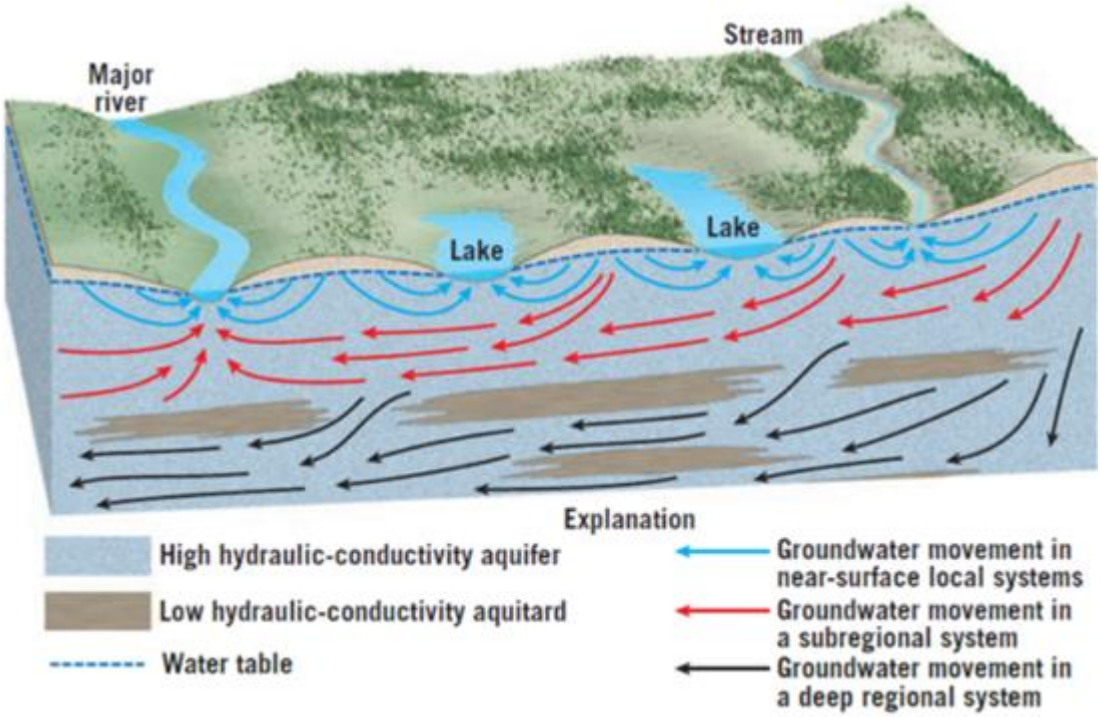


圖 1、地下水流動機制(摘自 Engineering geology https://reurl.cc/9OGXra)

地下水供水潛能場址的分級標準

為評估山區地下水供水場址之潛能，常使用 Struckmeier 與 Margat (1995)所定義之方式，亦即依據抽水試驗之井出水量或單位洩降出水量等定量參數，區分為高、中、低與微量等分級類別(如圖 2)。其中，能供應區域性與地方性供水的潛能場址，其地下水產能應達每分鐘 60 公升以上；以地調所建立的 72 處抽水試驗場所為例，可達此標準的潛能場址計有 35 處。

為進一步探討能供應區域性與地方性供水的潛能場址所具備的地形及水文地質特性，地調所進一步將 72 處抽水試驗場所依其所在之地形單元及水文地質單元進行分析與探討。

含水層分類	地下水資源產能等級與簡稱	導水係數（m^2/min）	透水係數（m/s）	井出水量（L/min）	單位洩降出水量（cmh/m）
Class 1	**高（H）**：區域性供水，抽水量可提供城鎮與灌溉所需。	>0.05	>4E-5	>600	>3.6
Class 2	**中等（M）**：地方性供水，抽水量可提供小社區與地方灌溉所需。	3E-3～0.05	2E-6～4E-5	60～600	0.4～3.6
Class 3	**低，部分地區較佳（L）**：局部地方性供水，抽水量只可提供個人所需。	3E-5～3E-3	2E-8～2E-6	0.6～60	4E-3～0.4
Class 4	**微量（P）**：地下水資源缺乏。	<3E-5	<2E-8	<0.6	<4E-3

圖 2、地下水產能等級分類表(摘自林榮潤等，2021)

地形單元與供水潛能之關連性

山區之地形單元分類如圖 3，其中如以岩屑層平均厚度來歸納(如圖 4)，由薄至厚可概分為三類：第一類為「鄰近山頂、山脊分水嶺、陡坡、窄谷」等地形單元，其岩屑層厚度平均值約為 3~7m；第二類為「緩坡、窄谷沖積扇、主河道堆積」等地形單元，其岩屑層厚度平均值約為 12~16m；第三類則為崩積層，其岩屑層厚度平均值約為 49m。

經進一步比對，其中位於第一類地形的 18 處抽水試驗場中僅有 1 處符合地下水產能達每分鐘 60 公升以上之潛能場址；而位於第二及第三類地形的 54 處抽水試驗場中，則有 34 處(63%)符合地下水產能達每分鐘 60 公升以上之潛能場址。亦即若能於調查前，事先劃分地形單元，可提高選出中高等級以上潛能場址之準確性。

地形單元	定義	簡稱	岩屑層厚度統計（m）						試驗場址數量	潛能場址數量
			最大值	四分位數（Q3）	平均值	中位數	四分位數（Q1）	最小值		
鄰近山頂	山頂較為平坦區	Rf	8.6	7.7	7.0	6.7	6.2	5.7	1	0
山脊分水嶺	山脊線	Rg	5.4	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4	n.a	n.a
陡坡	坡度大於 45 度	Vsd	6.0	3.8	2.7	1.6	1.1	0.6	3	0
緩坡	坡度小於 45 度	Vss	41.8	19.5	16.0	13.1	9.4	1.7	**18***	**8***
窄谷	支流河寬小於 200 公尺	Vb	9.8	6.1	4.4	4.7	2.3	0.5	14	1
窄谷沖積扇	支流下游成扇狀堆積	Vbf	32.2	15.0	12.1	11.1	9.6	7.0	**11***	**7***
主河道堆積（含河階地）	河寬大於 200 公尺	Fm	31.7	13.4	11.7	10.0	7.2	4.0	**25***	**19***
崩積層	崩積或土石流堆積區	Co	>100	54.8	48.8	46.0	39.9	25.9		
岩屑層平均厚度（m）					**13.5**	數量			72	35

圖 3、地形單元與潛能場址分析。(摘自林榮潤等，2021)

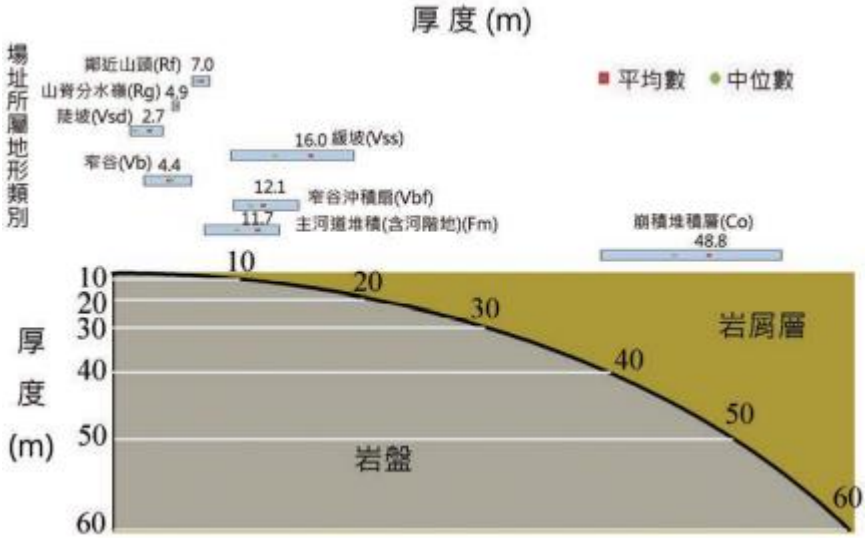


圖 4、地形單元之岩屑層厚度分布圖。(摘自林榮潤等，2021)

水文地質單元與供水潛能之關連性

若依水文地質單元之井出水量區分，中央山脈砂岩與板岩(HRSA)之水文地質單元，有遠高於平均之井出水量，每分鐘高達 803.3 公升；其次為東翼太魯閣與玉里片岩(TYSC)與脊梁山脈千枚岩(BRSP)水文地質單元，顯示中央山脈之水文地質單元有較豐沛之地下水資源，但其地下水資源蘊藏量之變異性亦較大。西部麓山帶中，則以砂頁互層(WFSS)之水文地質單元較多井出水量，其每分鐘約

112.4 公升。井出水量最少之水文地質單元，則為西部麓山帶頁岩層(WFSH)與中央山脈硬頁岩層(HRAR)。

地質分區		西部麓山帶				中央山脈西翼					中央山脈東翼		海岸山脈	
水文地質單元		WFGR	WFSS	WFSM	WFSH	HRAR	HRQS	HRSA	HRSL	BRSP	TYSC	TYMB	CRBR	CRSS
數量		5	22	3	3	3	7	2	3	12	9	1	1	1
潛能場址		2	7	1		5	4			6	7	1	1	1
比例(%)		40	31.8	11.1		**71.4***	**80***			50	**77.8***	-	-	-
數量		33				37							2	
潛能場址		10				23							2	
比例(%)		30.3				**62.2***							-	
井出水量	最大值	100	840	144	11.9	30	360	900	240	900	966	-	-	-
	最小值	2.2	0.2	11.7	1.8	8.1	30	706.7	18	0.6	48	-	-	-
	平均值	46.7	**112.4**	59.5	6.8	16	**171.1**	**803.3**	**110**	**334.1**	**494.6**	480	150	180
	標準差	43.1	**194.1**	73.4	6.4	12.1	130	**136.7**	115.8	**382.4**	**362**	-	-	-
	平均值	90.6				266.4					493		-	-
	標準差	162.7				323					341.5		-	-

*優勢地質場址：西部麓山帶地質區潛能場址比例為 30.3%，而中央山脈地質區則為 62.3%，高於西部麓山帶約一倍，其中有利於蘊藏地下水的岩層為 HRQS 石英岩、HRSA 砂岩與板岩、HRSL 板岩與 TYSC 片岩等水文地質單元，其井出水量變異性亦較大，而西部麓山帶整體潛勢相對較低，然而 WFSS 部分場址如竹坑站，可達到區域性供水等級，相對地，WFSM 泥岩、WFSH 頁岩、HRAR 硬頁岩等含泥質成分較多的單元，潛能場址比例偏低。

圖 5、水文地質單元與潛能場址統計表。(摘自林榮潤等，2021)

由分區之岩性可知，台灣山區其井出水量較多之水文地質單元，多以層理及裂隙發達之變質岩或砂頁互層等為主，其中又以中央山脈優於西部麓山帶與海岸山脈，其地下水資源蘊含量豐沛，係為台灣重要之地下水資源區；而泥質成分之水文地質單元，亦會因其變質程度、層理與裂隙發達程度而改變其井出水量。

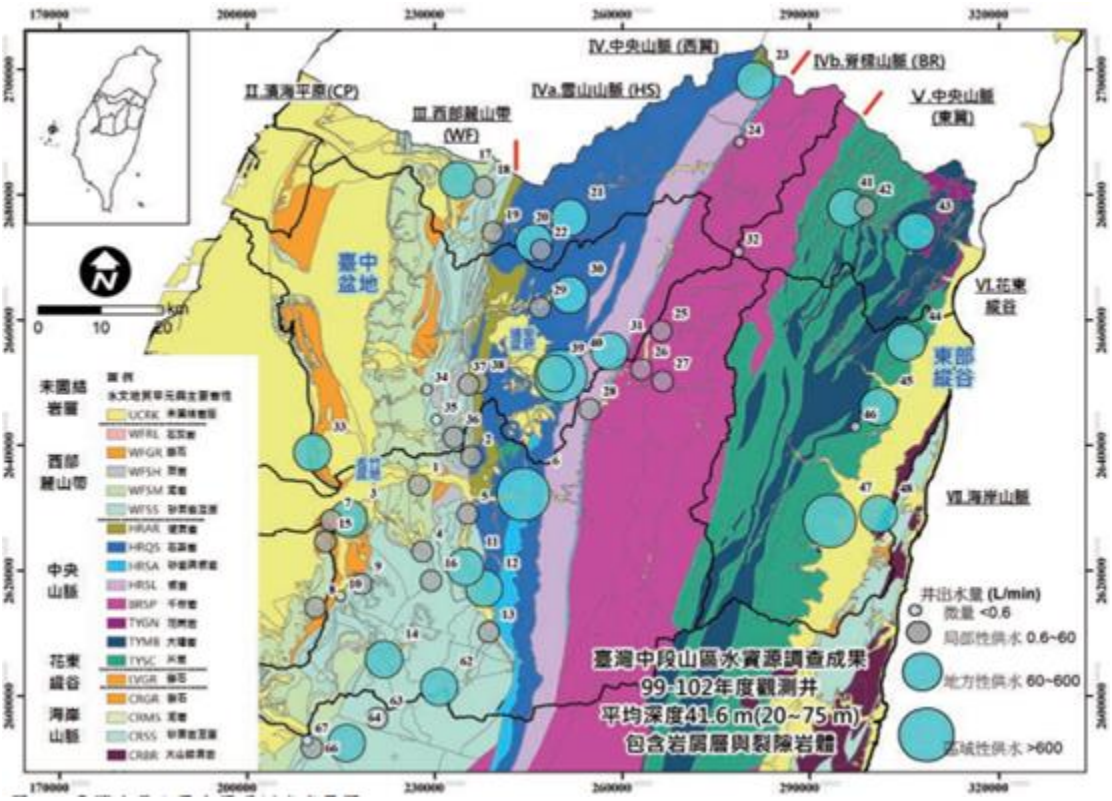


圖 6、台灣中部山區水資源分布圖。(摘自林榮潤等，2021)

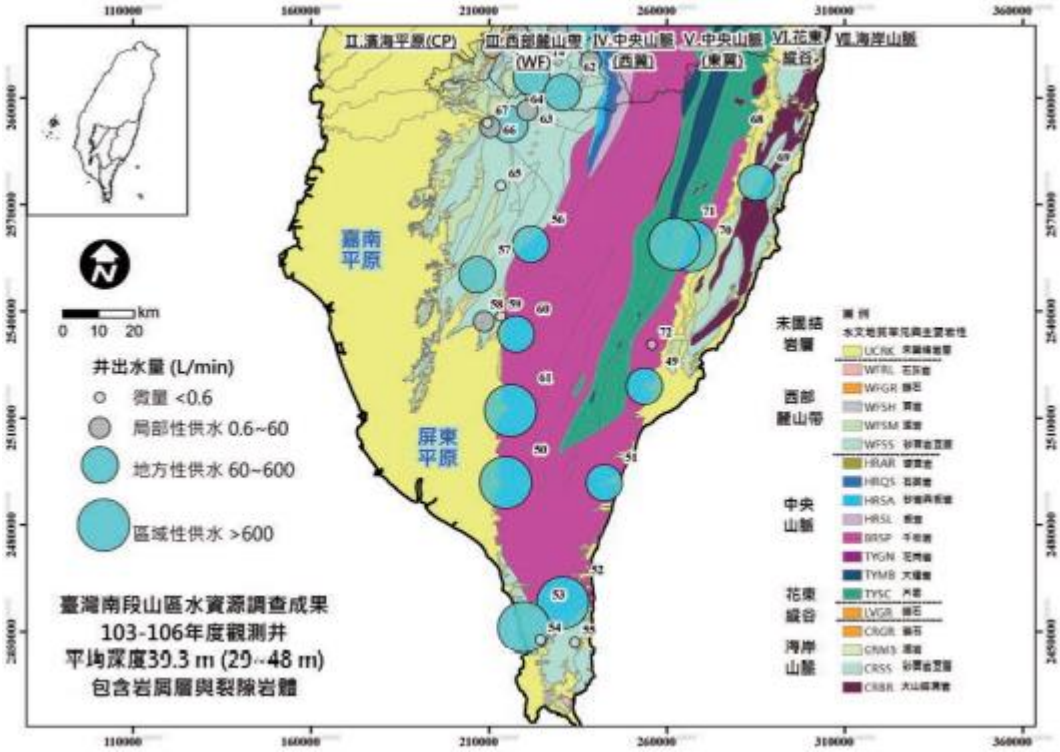


圖 7、台灣南部山區水資源分布圖。(摘自林榮潤等，2021)

由於山區地下水資源蘊藏量變異性較大，更凸顯山區水資源探勘與調查之困難性與其不確定性。因此，在分析與評估其地下水資源含量時，除可先以地形單元及水文地質單元進行分類與評估外，更需探討如地質線性構造、土壤溼度、植生與地貌等影響因子，以進一步提升探勘之準確性。為因應愈來愈險峻的氣候變遷趨勢，了解台灣山區地下水蘊藏量特性與探知其位置係為重要的水資源調適策略，希冀於未來枯水期時，能作為地下水資源調配之解方之一。

參考文獻

林榮潤、柯建仲、林燕初、梁嘉宏、賴慈華與王詠絢 (2021) 台灣中南段山區供水潛能場址之評估技術建置與分析，水文地質研究專輯(三)，第 1-20 頁。

經濟部中央地質調查所 (2013) 台灣山區地下水資源調查研究整體計畫-台灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置(4/4)，財團法人中興工程顧問社。

經濟部中央地質調查所(2017)台灣南段山區地下水資源調查計畫-台灣南段山區地下水位觀測與水力特性調查(4/4)，財團法人中興工程顧問社。

Struckmeier, W. F. and Margat, J. (1995) Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. Verlag Heinz Heise, Hannover.

➢ (三)上帝的視角-用衛星來追蹤 COVID-19 對全球的影響

近年來衛星科技除已廣泛應用於通訊、氣象、防災、生態和軍事等各個領域，這兩年科學家們更以衛星觀測到農作物種植面積、光害、以及化石燃料產生之氣體變化等數據，進一步量化並推估了 COVID-19 對世界各地的自然環境、民眾生活等造成的影響。本期電子報將介紹在 2019-2020 年新冠肺炎開始影響全球期間，運用衛星追蹤到的環境變化與後續的衝擊。

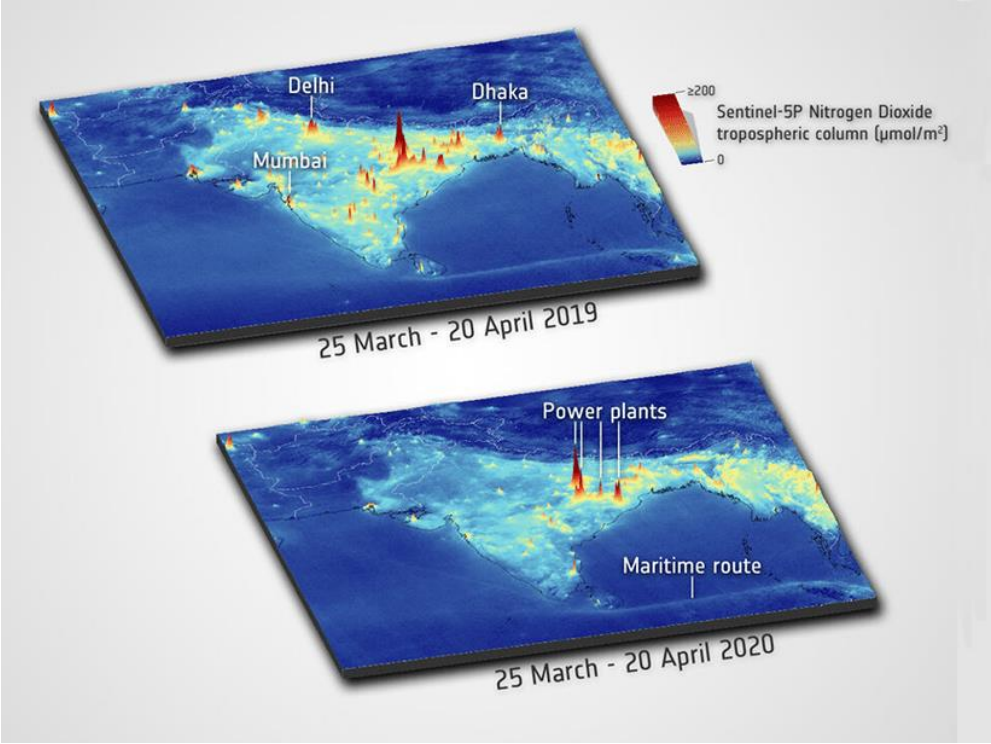


圖 1、印度於 2020 二氧化氮量相較 2019 明顯下降(ESA)

美國航空暨太空總署(NASA)、歐洲太空總署(ESA) 和日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA)於 110 年共同合作發布了一組特別的影像數據庫，希望用這些影像協助追蹤新冠肺炎病毒對全球的影響，也希望讓大眾重視未來可能會發生的危機。如圖 1，根據這些影像呈現與分析的結果，由於疫情期間世界各國採取封城方式、工廠停工且多數交通設施停駛，因此石化燃料用量大幅減少，在 2020 年 3 月除了發電廠持續運作外，幾個重要城市(如德里、孟買)像是按下暫停鍵，連大氣中的二氧化氮量都相對降低許多。

疫情導致糧食危機的隱憂

每年的 3-6 月為德國白蘆筍的採收期，但由於蘆筍屬於高勞力密集型產業，因此德國每年均仰賴來自歐洲東南部的短期勞工支援。然而在 COVID-19 期間，各國政府為阻止病毒傳播，紛紛關閉邊境限制外國民眾入境，造成這些短期勞工無法在歐洲各國間任意移動。德國農業部粗估 2020 年採收季缺少約 30 萬名勞工，蘆筍的收成將減少約 1/4。

事實上，科學家們從衛星影像分析也看到類似的結果，亦即勞動力不足的問題直接影響到蘆筍的種植面積，相較 2019 年，2020 年蘆筍的種植面積明顯下降 20-30%。由於種植的面積減少，糧食及農業組織和世界糧食計劃署更呼籲大眾需更加重視 COVID-19 疫情可能由健康危機轉變為全球糧食危機。

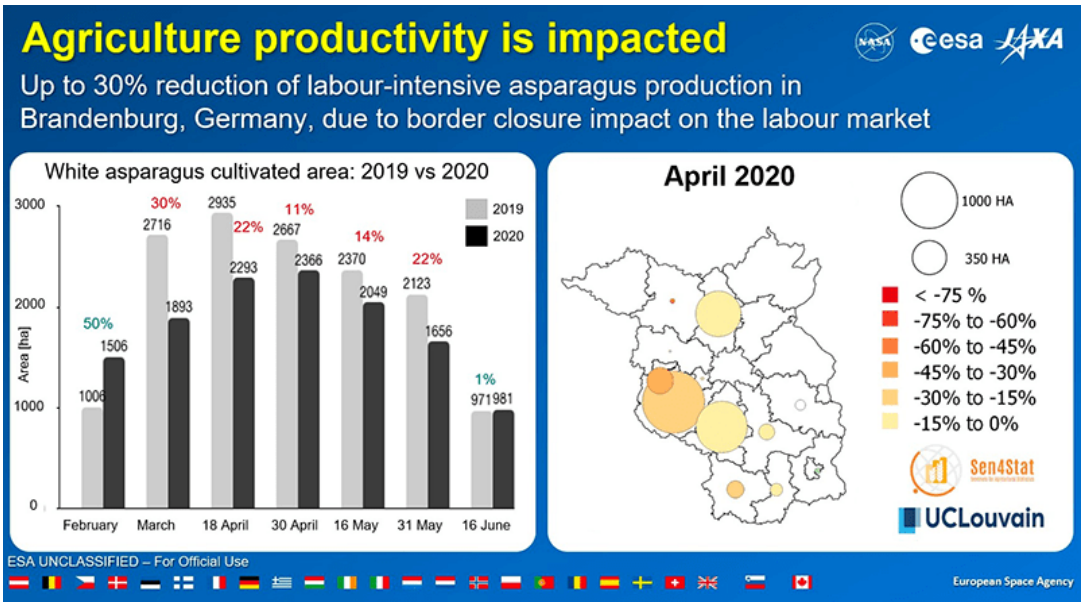


圖 2、德國蘆筍減產 30% (NASA/ESA/JAXA)

歐洲二氧化氮污染物減半

然而，疫情封城也帶來另一方向的正面影響。NASA 科學家 Ken Jucks 表示，由於二氧化氮污染物在較底層的大氣中通常只能持續幾個小時，因此這類汙染物的短期變化會非常顯著。藉由衛星觀測數據(註)分析顯示，2020 年歐洲新冠肺炎封城期間，由於汽車等交通工具和發電廠燃燒較少的化石燃料，與 2019 年相比空氣中的二氧化氮(NO2)量相對減少。

在歐洲幾個重要城市如馬德里、米蘭、羅馬和巴黎的 NO2 值也下降約 50%。這項分析地球另一端得到了驗證，美國從華盛頓特區到波士頓減少 30%，亞洲區的印度新德里和孟買的濃度也減少 50%。註：數據來自 ESA 的哥白尼 Sentinel-5P 衛星使用對流層監測儀器（TROPOMI）監測對流層中的甲烷、一氧化碳、二氧化氮、臭氧和其他大氣成分。

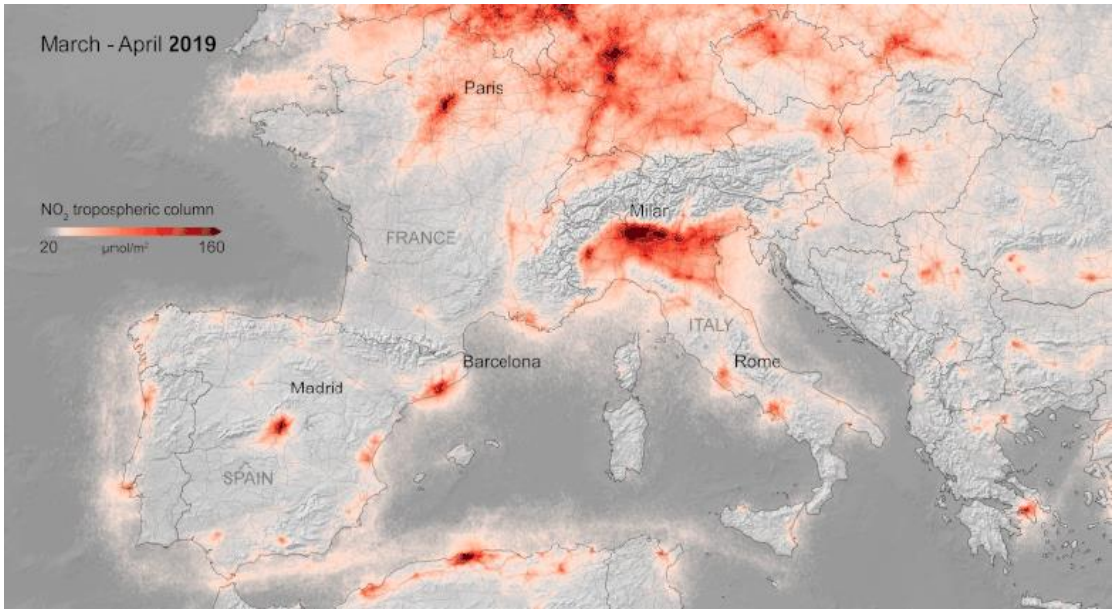


圖 3、封城期間歐洲重要城市的 NO2 迅速變化 (ESA)

舊金山醫院光害污染加劇

有趣的是，原本用以追蹤光害的數據，卻意外發現居家辦公政策對人們生活型態的改變。例如美國舊金山商業區(The central business districts of San Francisco)平時即便到了夜晚也是燈火通明的區域，由於居家辦公期間約有 670 萬的居民都留在家中，舊金山商務區的光害明顯比以往減少，且緊鄰周圍的市場區及娛樂區，其夜間燈光也變得昏暗了。由 NASA 和 NOAA 監測的光強度數據顯示，自 2020/3/22 後加州大學舊金山分校醫學中心的夜間光源較 1 月份更為明亮，再對比每日確診病例曲線圖後，4 月為舊金山市第一波春季疫情的爆發月，似乎讓醫院突然遽增的夜間燈光有了解答。

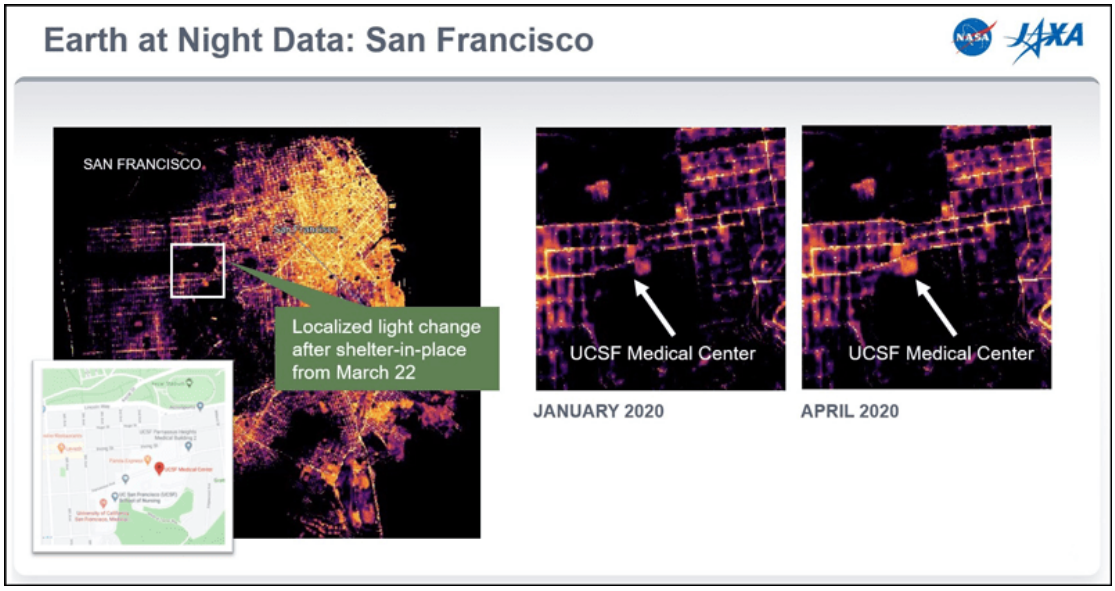


圖 4、舊金山市醫學中心 1、4 月的夜晚光源變化(NASA/ESA/JAXA)

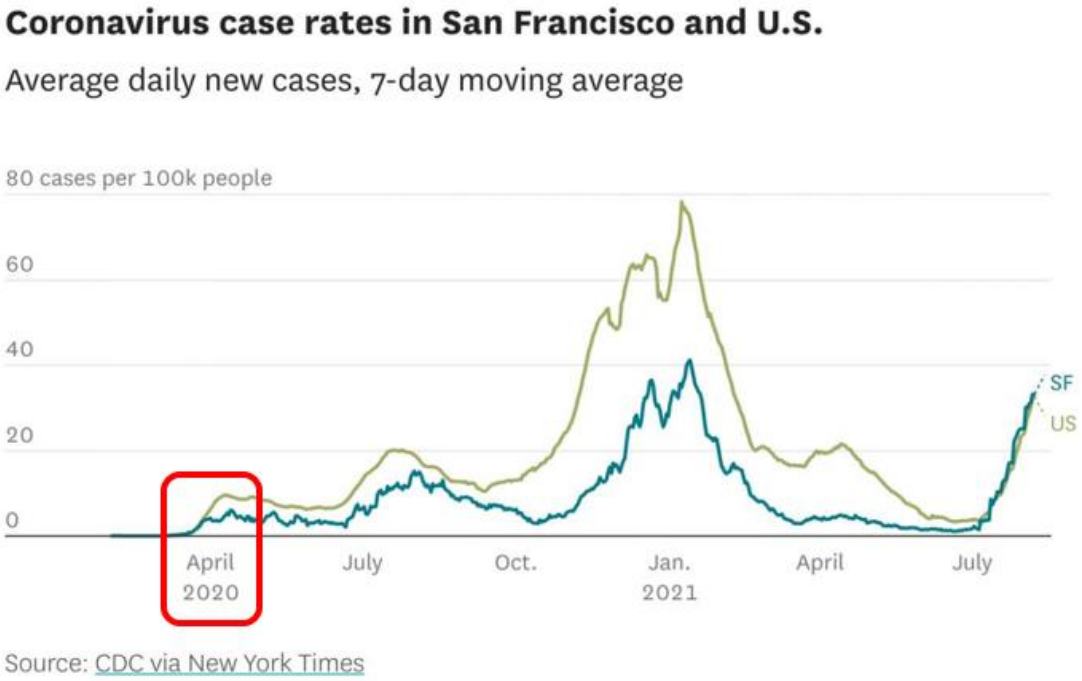


圖 5、美國及舊金山市確診病例曲線圖 (New York Times)

細節藏在停車場裡

魔鬼藏在細節裡，但衛星天眼則說細節藏在停車場裡。一份由 ALOS-2 衛星和 Sentinel-1 衛星分析指出，中國政府在 1 月中旬開始實施的禁足令，讓北京一間汽車製造廠外的停車數量銳減許多。研究人員分析這則政策正是造成停工期間工廠外停車場的汽車密度下降至 20-40%的主因，但在 4 月復工後即回升至八成。

此外，新加坡醫院的停車場為因應突然湧至的確診病患，將過多的車輛引導至附近的港口，一夕之間寬闊的港口用地成為該醫院的臨時停車場。這些微小的變化透過太空影像，都能被清楚的觀測以及呈現。

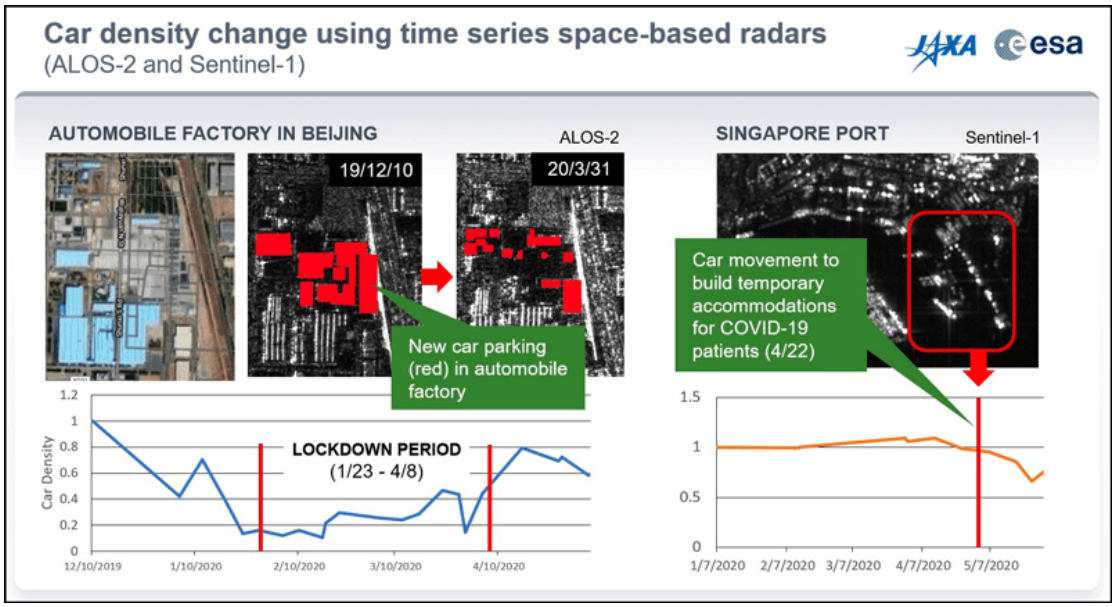


圖 6、北京工廠外停車數量驟降與新加坡醫院停車數量變化(NASA/ESA/JAXA)

太空已成各國未來必爭之地

從長遠來看，太空已成世界各國未來的必爭之地。以即將加入衛星觀測的辛巴威為例，位於非洲南部的辛巴威與日本九州工業大學合作製造的第一顆衛星 ZIMSAT-1 將於 2022 年發射。事實上，自 22 年前南非發射了第一顆衛星後，太空中來自非洲各國的衛星已經有 44 顆了！

ZIMSAT-1 是由 the Joint Global Multi-Nation Birds Satellite project (BIRDS) 所推動的最新任務，BIRDS 是一個幫助各國建造第一顆衛星的多國計劃。這顆衛星將搭載多光譜相機和影像分類工具，以及用於傳輸和接收信號的設備，科學家們期待這些設備將能更快且全面性地評估地被植物和乾旱等問題的數據。



圖 7、即將升空的 ZIMSAT-1 類似圖中的立方體小型衛星 (NASA)

隨著時代科技的進步，期許衛星科技的技術能更廣泛的應用，也藉由在各個領域下的創新帶給大環境的增長，進而獲得來自不同國家以及機構的研究團隊支持新技術的開發和使用。

參考文獻

1. Duncombe, J. (2020). Six ways satellites tracked COVID-19. Eos, 101. Retrieved from https://eos.org/geofizz/six-ways-satellites-tracked-covid-19

2. Adetola, A. (2021). Zimbabwe to Launch its First Satellite in 2022. Space in Africa, News. Retrieved from https://africanews.space/zimbabwe-to-launch-its-first-satellite-in-2022/

3. Makoni, M. (2021), Zimbabwe's scientists look forward to country's first satellite. Eos, 102. Retrieved from https://doi.org/10.1029/2021EO210603

➢ (四)行星觀察者－守護地球半世紀的 Landsat 衛星

近期遙測發展的大事件，除了歐盟與美國太空總署 NASA 共同發展的韋伯望遠鏡順利開展外，另一個便是美國地質調查所 USGS 與 NASA 合作的 Landsat 衛星計劃誕生了新成員。Landsat 衛星家族中最新的大地衛星九號(Landsat 9)，於 110 年 9 月發射升空後，經過不斷的試驗校正，已於上周開始供應各種觀測資料產品，例如在阿拉斯加使用紅外線、紅色與藍色光譜所拍攝、後製的假色影像(如圖 1)。



圖 1、使用大地衛星 9 後製的假色影像。安克拉治，阿拉斯加(Anchorage Alaska)。來源：usgs.gov

Landsat 9 衛星的啟用，是 Landsat 計畫中重要的里程碑，該計畫於 1972 年發射了第一顆地球資源技術衛星(ERTS-1，後來更名為 Landsat 1)，其中經歷了運作逾 28 年的 Landsat 5 衛星，以及未能進入軌道而任務失敗的 Landsat 6 衛星，整個計畫運作了半個世紀。時至今日，其成果不僅是美國遙感數據的骨幹，更藉由開放科學，成為了全球遙感探測的重要研究基礎。

本期將與各位一同探索 Landsat 計畫發展，以及 NASA 如何展示遙測衛星與成果，並關心目前資料的開放型態及應用可能。

The Landsat Missions：橫跨半世紀的行星觀測與資料開放

在 1966 年，美國內政部長 Stewart Lee Udall (如圖 2)啟動了地球資源觀測衛星計畫(Project EROS-Earth Resources Observation Satellites)，希望能為人類福祉去觀測地球資料。



圖 2、Stewart Lee Udall，時任美國內政部長，1961-69 年。來源：usgs.gov

EROS 計畫延續至今，其衛星家族已發展至目前的 Landsat 9(如圖 3)，同時自 2008 年起的開放政策(如圖 4)，已持續將 EROS 中心超過 1000 萬張的衛星資料庫對全世界提供開放應用。

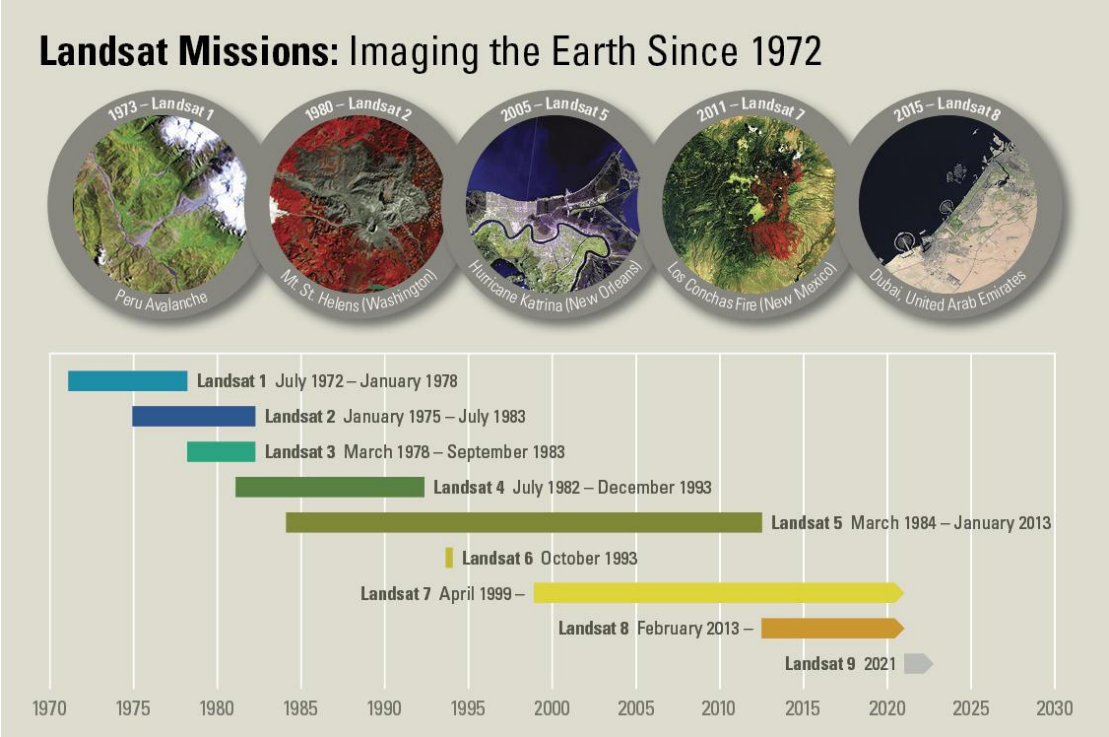
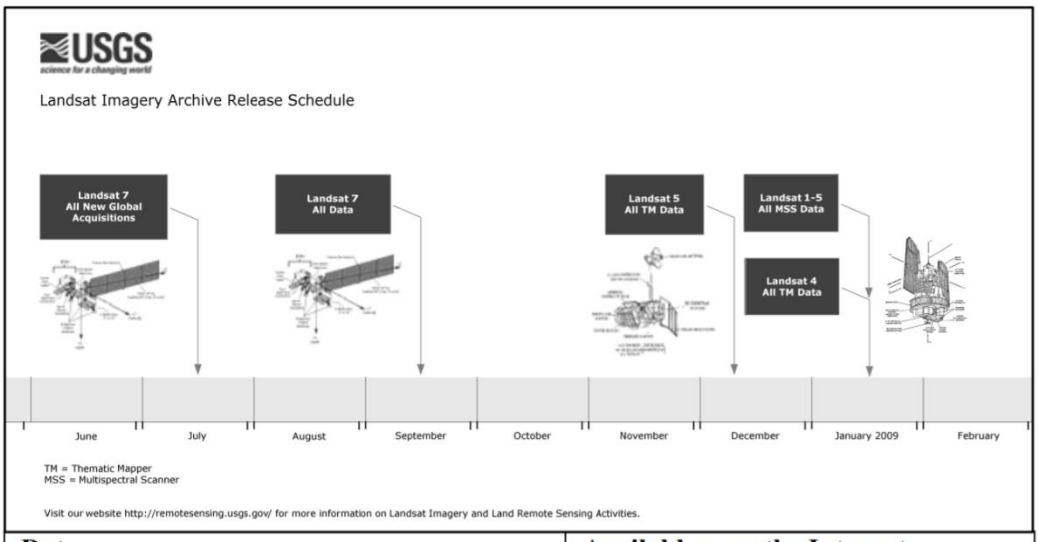


圖 3、Landsat 各時期衛星發展。來源：USGS



Data	Available over the Internet
Landsat 7 – all new global acquisitions	July 2008
Landsat 7 – all data	September 2008
Landsat 5 – all TM data	December 2008
Landsat 4 – all TM data	January 2009
Landsat 1-5 – all MSS data	January 2009

圖 4、2008 年 Landsat 衛星開放政策。來源：USGS

Landsat 9 主要的功能與特色

Landsat 9 搭載了兩個主要感測器：OLI-2 感測器能接收 9 個光譜波段，具 15~30 公尺解析度；改良後的 TIRS-2 熱紅外線感測器，能更為精準地測量 2 個波段的熱輻射，並具備 100 公尺解析度(如圖 5)。Landsat 系列衛星之感測器比較表，如圖 6。

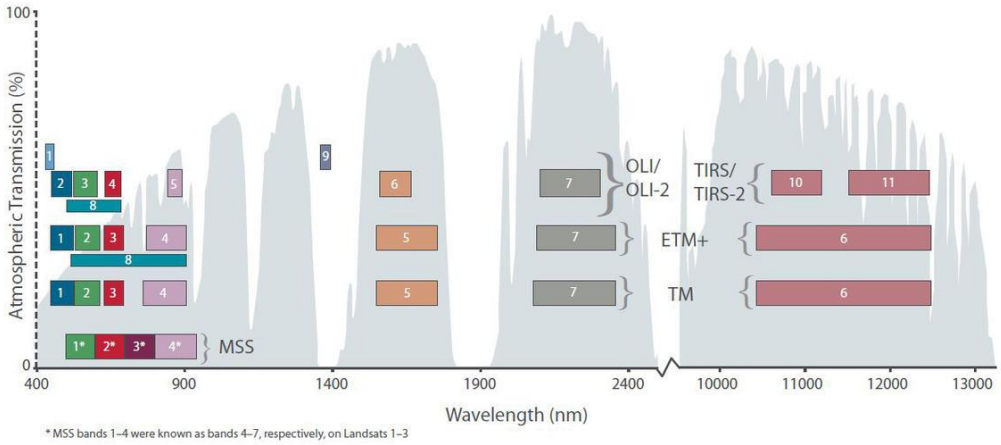


圖 5、Landsat 9 衛星的 11 個感測波段分布圖(MSS、TM、ETM+為早期衛星感測器)。來源：USGS

Satellite	Launch	Decommissioned	Sensors
Landsat 1	July 23, 1972	January 6, 1978	MSS/RBV
Landsat 2	January 22, 1975	July 27, 1983	MSS/RBV
Landsat 3	March 5, 1978	September 7, 1983	MSS/RBV
Landsat 4	July 16, 1982	June 15, 2001	MSS/TM
Landsat 5	March 1, 1984	2013	MSS/TM
Landsat 6	October 5, 1993	Did not achieve orbit	ETM
Landsat 7	April 15, 1999	Operational	ETM+
Landsat 8	February 11, 2013	Operational	OLI/TIRS

圖 6、Landsat 系列衛星資料。來源：國立中央大學太空及遙測研究中心

Eyes on the Earth：看見地球的角度

儘管遙測科技早已走入並應用於我們的生活，但對多數人而言遙測似乎又是那麼深奧難懂。因此 NASA 發展了視覺化工具，以看見地球(Eyes on the Earth)作為 NASA's Eyes 系列計畫之一，不僅可以 3D 方式即時呈現目前衛星的運行軌道(如圖 7)，同時亦可將觀測所得的大氣溫度(如圖 8)、海平面變化(如圖 9)、土壤濕度(如圖 10)、重力場(如圖 11)等研究成果以視覺化方式呈現。

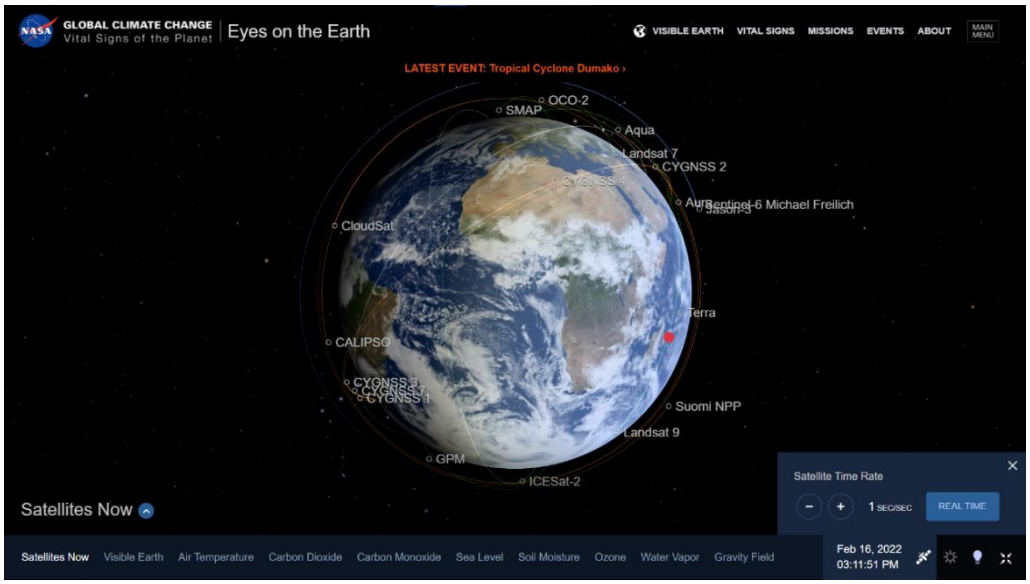


圖 7、即時衛星軌道分布。來源：NASA

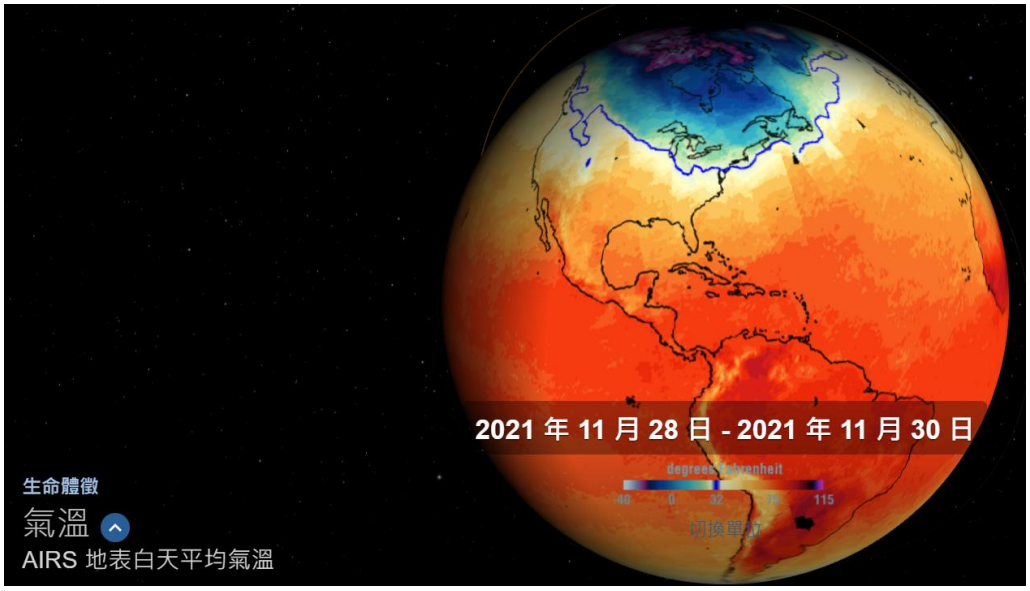


圖 8、氣溫分布。來源：NASA

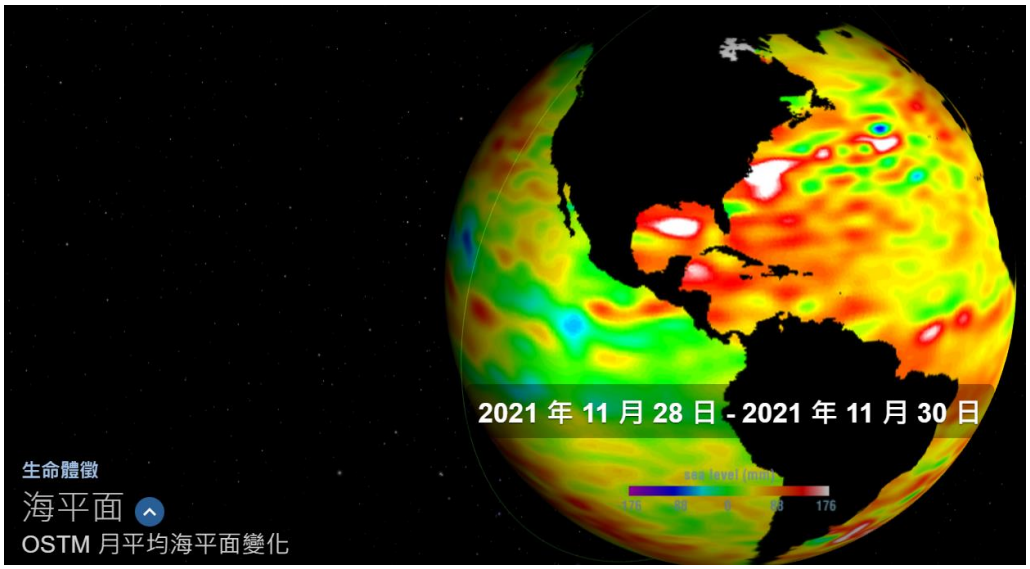


圖 9、海平面變化分析。來源：NASA

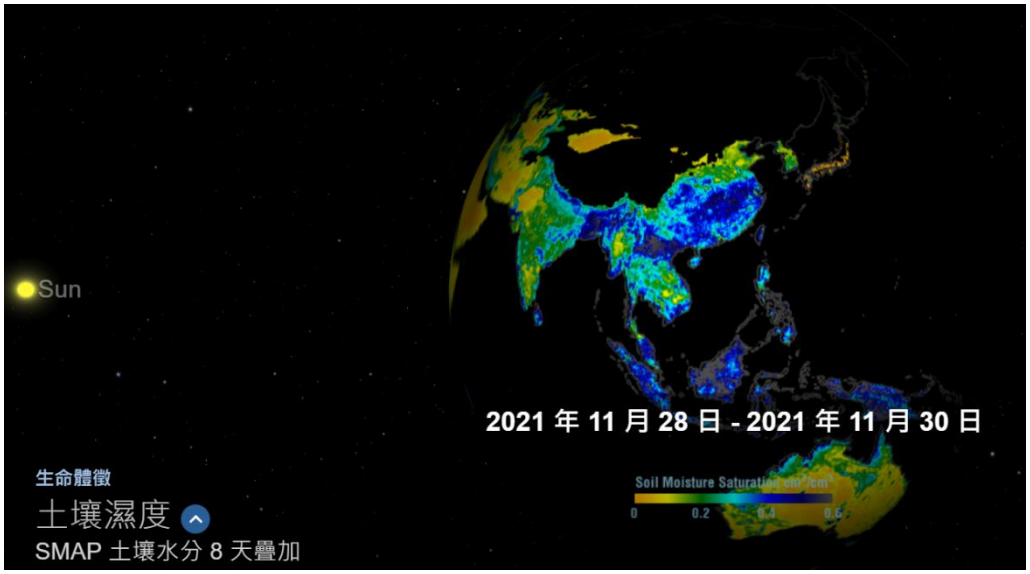


圖 10、全球 SMAP 土壤溼度。來源：NASA

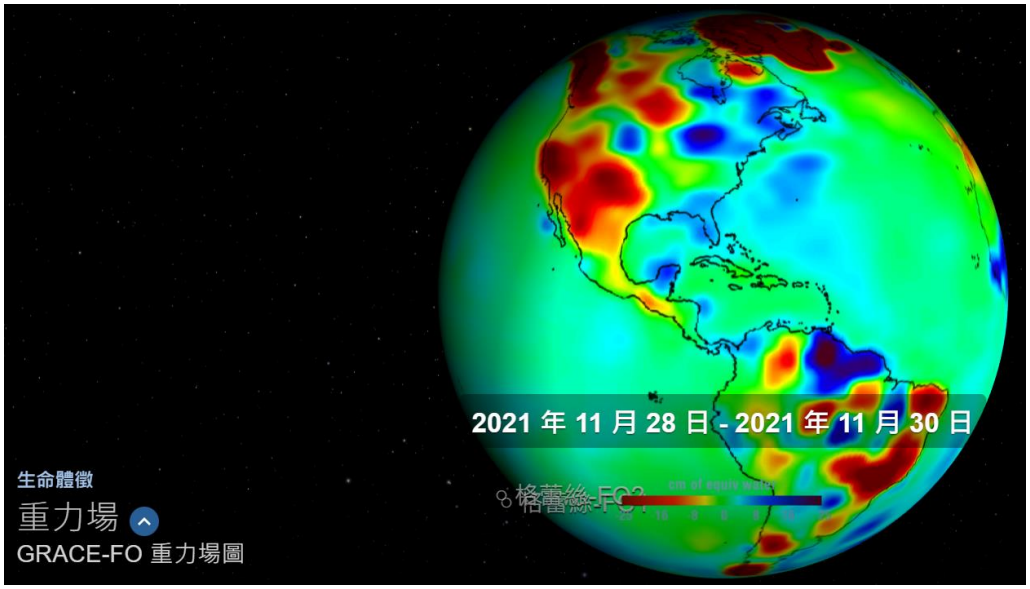


圖 11、全球重力場觀測。來源：NASA

而這些遙測技術的應用成果，不僅能觀測地球，也能探索銀河，例如看見小行星系列(如圖 12)。更重要的是，這些研究成果藉由開放共享，都將成為人類的寶貴資產。

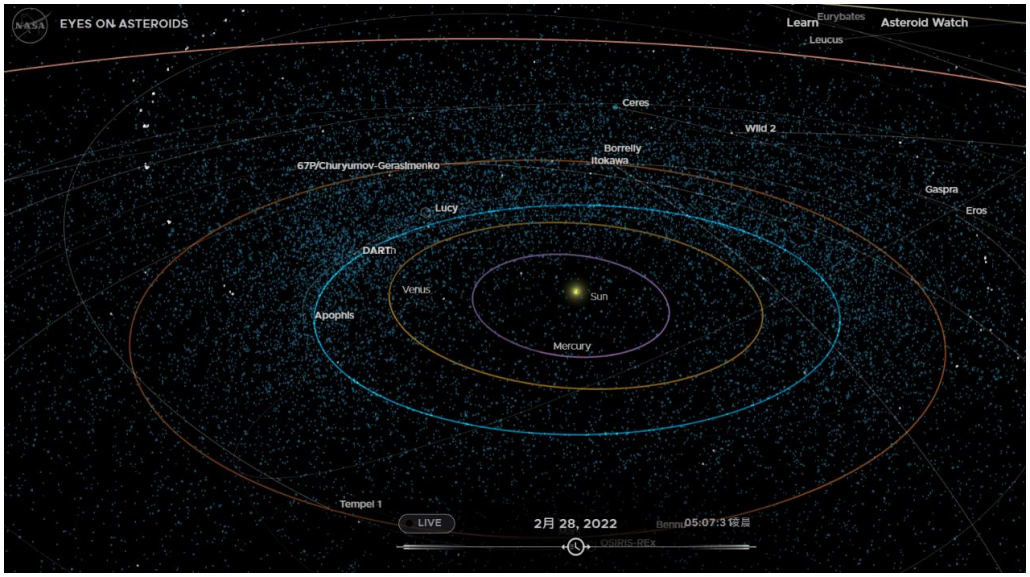


圖 12：看見小行星系列(Eyes on the Asteroids)。來源：NASA

如何取得及展示最新的 Landsat 9 影像

目前 Landsat 9 資料不僅能在既有來源 EarthExplorer、 Machine to Machine (M2M)和 LandsatLook 等服務取得(如圖 13)，也可藉由 Python 工具，如田納西

大學的吳秋生博士開發的 geemap(如圖 14)進行操作。即便目前 Google Earth Engine 尚未將 Landsat 9 資料正式上線，但實體檔案已逐步建置於服務伺服器，可先使用 LANDSAT/LC09/C02/T1_L2 代碼進行呼叫(如圖 15)

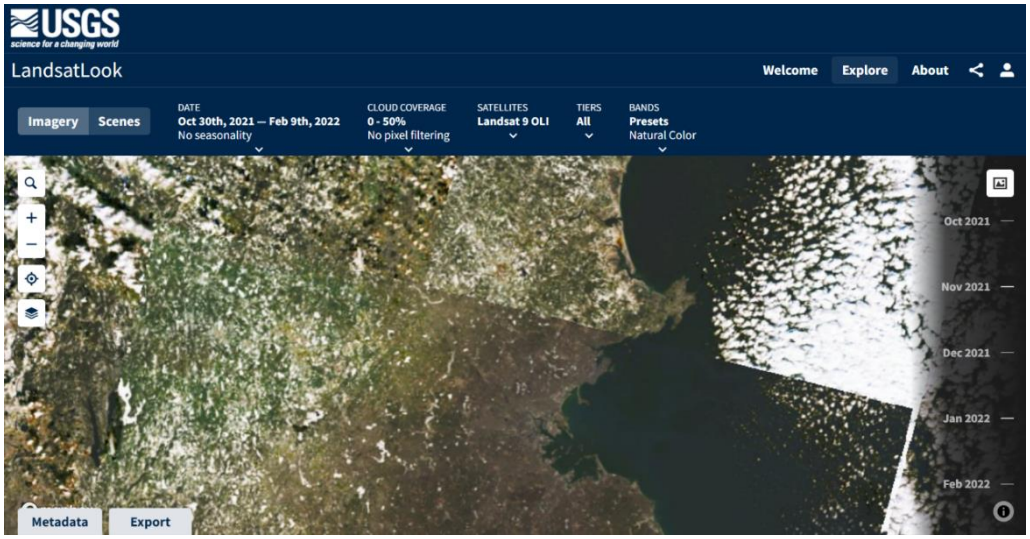


圖 13、LandsatLook 線上服務篩選器。來源：USGS

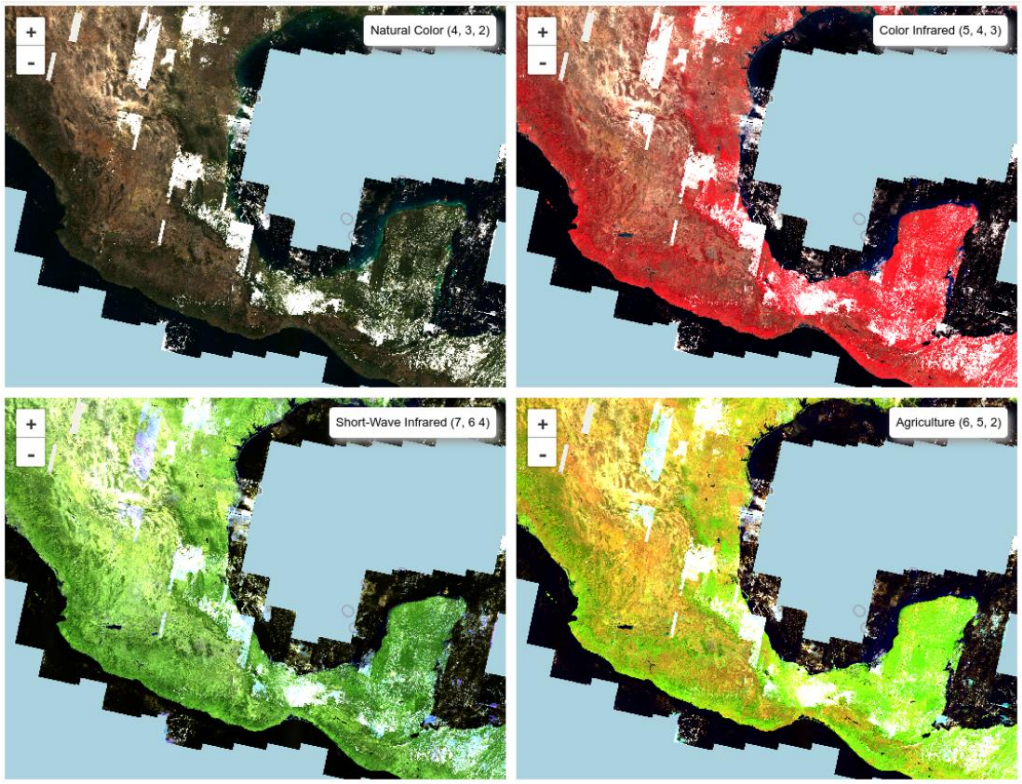


圖 14、使用 geemap 操作 Landsat 9 資料。來源：geemap.org

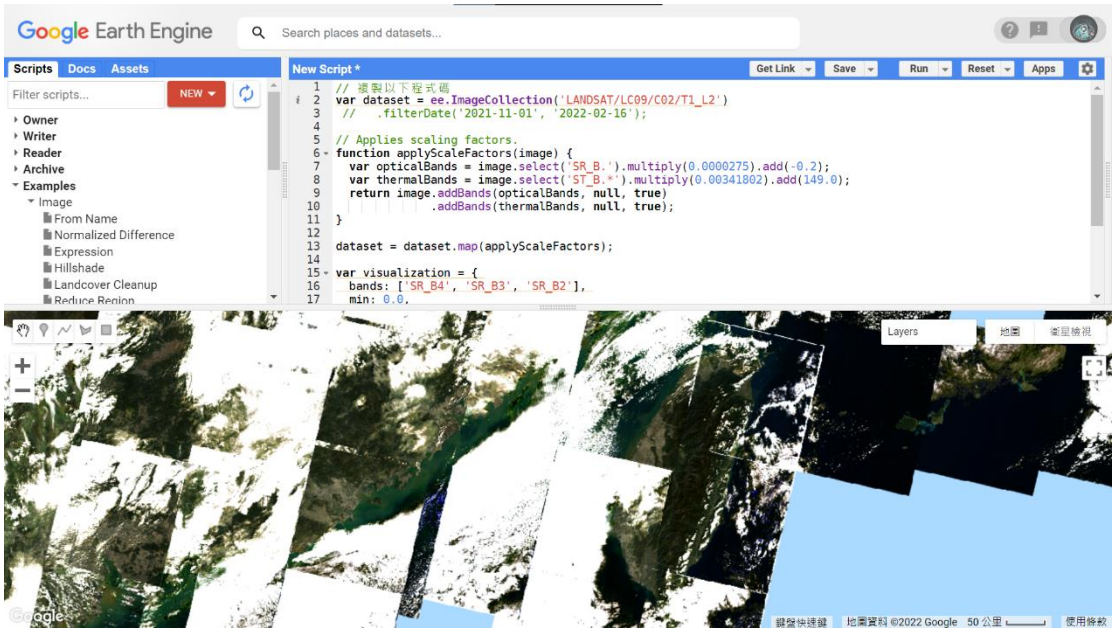


圖 15、使用 GEE 操作 Landsat 9 資料。來源：沈志全博士提供

簡易操作 Landsat 9 可見光資料程式碼，可將以下文字複製到 GEE 的 Script 編譯區，按下 RUN 按鈕，即可預覽如圖 15 之結果。

```
// 複製以下程式碼
var dataset = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC09/C02/T1_L2')
// .filterDate('2021-11-01', '2022-02-16');
// Applies scaling factors.
function applyScaleFactors(image) {
var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
return image.addBands(opticalBands, null, true)
.addBands(thermalBands, null, true);
}
dataset = dataset.map(applyScaleFactors);
var visualization = {
```

```
bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'],
min: 0.0,
max: 0.3,
};
Map.setCenter(120.1, 23.9275, 8);
Map.addLayer(dataset, visualization, 'True Color (432)');
// 程式碼結束
```

在可預見的未來，廣域的行星觀測資料，將能持續用於大尺度研究與驗證，比如森林與都市發展變遷、火山研究應用(如圖 16)、地表水研究等(如圖 17)。與此同時，水土保持局也正如火如荼地將臺灣地區自 1972 年起歷年的 Landsat 影像進行加值處理，並分享於 BigGIS 平台(圖 18)。期待在 Landsat 9 衛星成功運作後，全球持續推動遙測應用，邁向下一個 50 年！

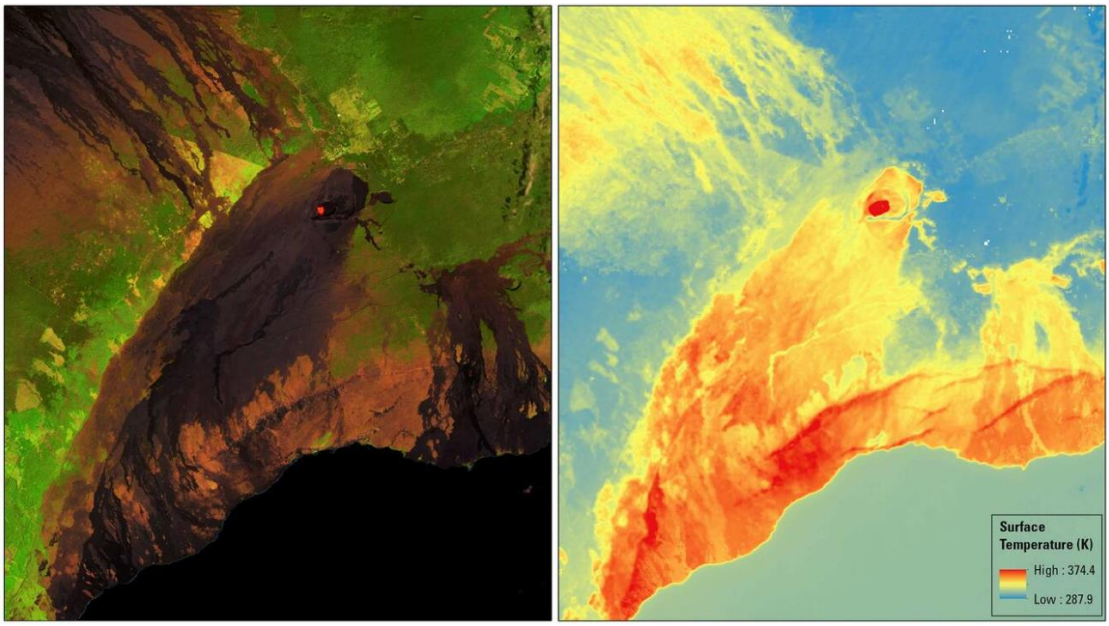


圖 16、Landsat 9 應用於夏威夷火山溫度觀測。來源：USGS



圖 17、Landsat Collection 1 資料集應用於地表水產品發佈。來源 USGS



圖 18、使用 BigGIS 平台搜尋臺灣地區歷年 Landsat 影像。

相關連結：

1. 來自 Landsat 衛星群的最新影像，上線開放使用：

https://www.usgs.gov/programs/national-land-imaging-program/news/landsat-9-data-release-extends-unparalleled-earth

2. Landsat 衛星任務與沿革：

https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions

3. 2008 年開放 Landsat 衛星資料政策：

https://www.usgs.gov/media/files/imagery-everyone-timeline-open-landsat-archive

4. NASA’s Eyes 看見系列計畫：

https://eyes.nasa.gov/

5. 看見地球(Eyes on the Earth)視覺應用：

https://eyes.nasa.gov/apps/earth/#/vitalsign?vitalsign=visible_earth&altid=0&animating=f&start=&end=

6. 國立中央大學太空及遙測研究中心-Landsat 衛星介紹：

https://www.csrsr.ncu.edu.tw/rsrs/satellite/Landsat.php

7. Python 工具 geemap，吳秋生博士：

https://geemap.org/

8. Landsat 9 資料用於地球觀測的無限可能：

https://www.usgs.gov/programs/national-land-imaging-program/news/landsat-9-data-release-extends-unparalleled-earth

9. Landsat Collection 1 Level-3 應用於地表水資料產品：

https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-1-level-3-dynamic-surface-water-extent-science-product

參考文獻：

Wu, Q., (2020). geemap: A Python package for interactive mapping with Google Earth Engine. The Journal of Open Source Software, 5(51), 2305. https://doi.org/10.21105/joss.02305

➢ (五)讓滿清由盛轉衰的天災－1815 年史上最大的火山爆發導致全球氣候變遷事件

還記得今年初東加王國發生的火山爆發嗎? 其宛如原子彈爆炸的蕈狀雲影像 (NOAA) 想必大家都記憶猶新，不少位於太平洋沿岸的國家因此發布了海嘯警報，甚至在太平洋對岸的美國加州也記錄到 1.3 公尺高的巨浪。且由前後期的 Landsat 8 衛星影像 (SWCB RTDT) 可看出，該島經爆發後整座島都幾乎沒入水中。此外，Aubry et al. (2021) 藉由模擬各種規模的爆發後對平流層的影響，結果顯示由火山爆發所排出的氣溶膠 (Aerosol) 將短暫影響平流層至少持續 3 年，亦即火山爆發除可能改變地球的地形地貌，並與人們的生活都息息相關。

那麼，人類史上最大規模的火山爆發後，曾對世界產生什麼樣的衝擊呢？科學家們的研究成果，竟與影響滿清由盛轉衰的重大天災連結了起來！此外，火山爆發究竟能否事前預測，本期電子報也將介紹相關的研究進展。

坦博拉火山-有史以來最大規模的火山爆發

西元 1815 年 4 月 5 日到 12 日間，位在印尼松巴哇島上的坦博拉火山 (Tambora) (圖 1) 發生了火山爆發指數 (Volcanic Explosivity Index, VEI) 為 7 的爆發 (圖 2)，為人類有紀錄以來遇到的最大規模火山爆發。此次爆發釋放超過 1,000 億立方公尺的岩石、灰燼和碎片至空氣中，據調查及文獻記載，爆炸聲響讓遠在 2,000 公里外的蘇門答臘都聽得見這次爆發。



圖 1　坦博拉火山 (Tambora)

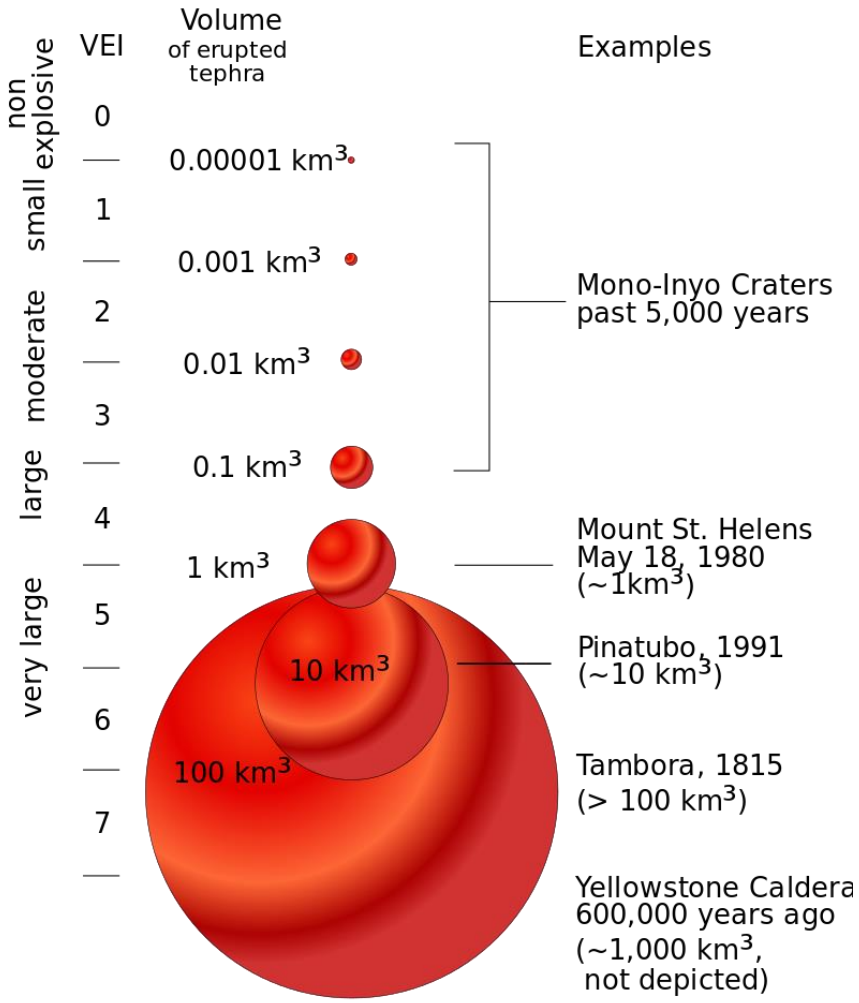


圖 2　火山爆發指數 (USGS)

大量的火山灰落在了婆羅洲、蘇拉威西島、爪哇島和摩鹿加群島的區域(圖3)且約有 11,000-12,000 人直接死於火山爆發。Stothers (1984) 推測本次爆發所排出的氣體及懸浮微粒，劇烈的改變了地球大氣的組成，進而造成當時及後續10 年的氣候異常。

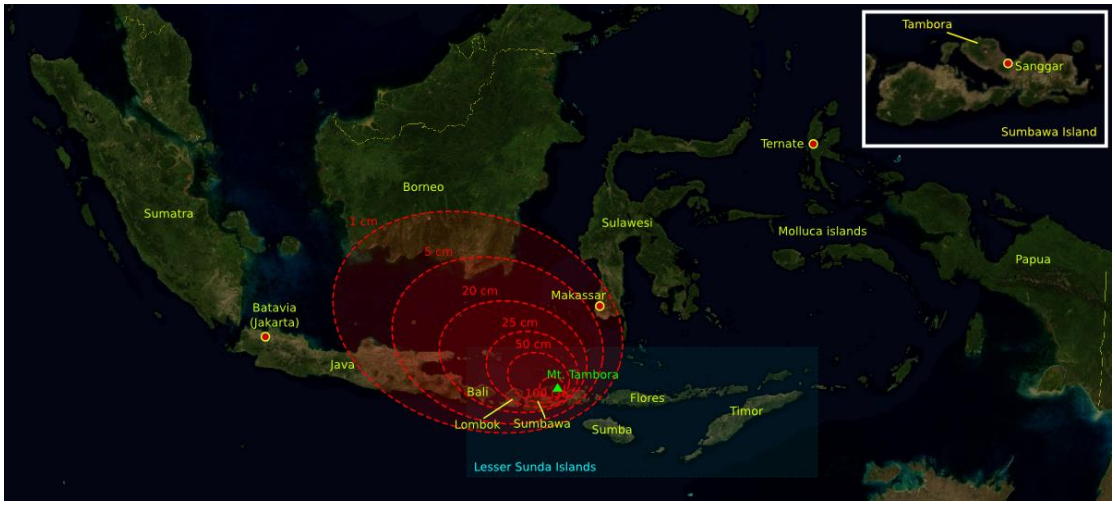


圖 3　1815 年噴發的火山灰沉降範圍 (Oppenheimer, 2003)

無夏之年-全球溫度下降天氣異常

歐洲，極端天氣

隔年西元 1816 年被稱為「無夏之年」，被推測是受到坦博拉火山爆發所致。火山灰造成的巨大雲層蔓延全球，讓全年的氣溫下降。美國東北部與加拿大 6 月仍然持續下雪，賓州到 7 月仍可見河水結冰；歐洲地區也因夏季氣溫異常而出現暴雨水災，造成農作物嚴重短缺 (圖 4 及圖 5)。且歐洲 1815 年才結束拿破崙戰爭，社會機能尚未恢復，又遇到天氣的劇變導致各地陸續出現糧食不足和餓荒，進而發生搶奪糧食的情況，民生問題雪上加霜。

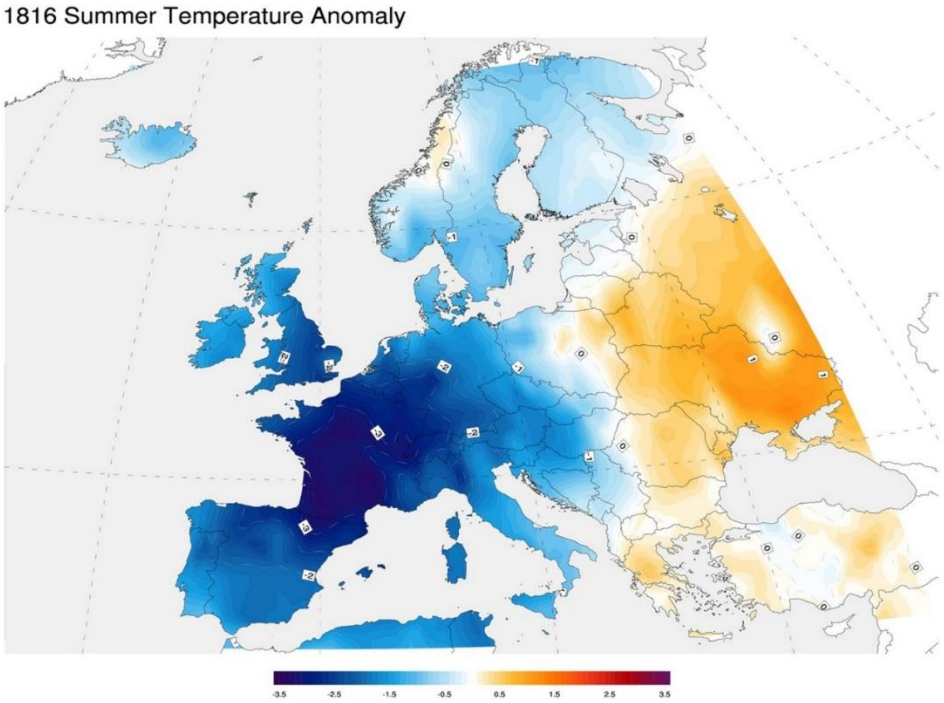


圖 4　1816 年歐洲夏溫相較於 1971 - 2000 年正常值的差異 (NOAA authored by Giorgiogp2)

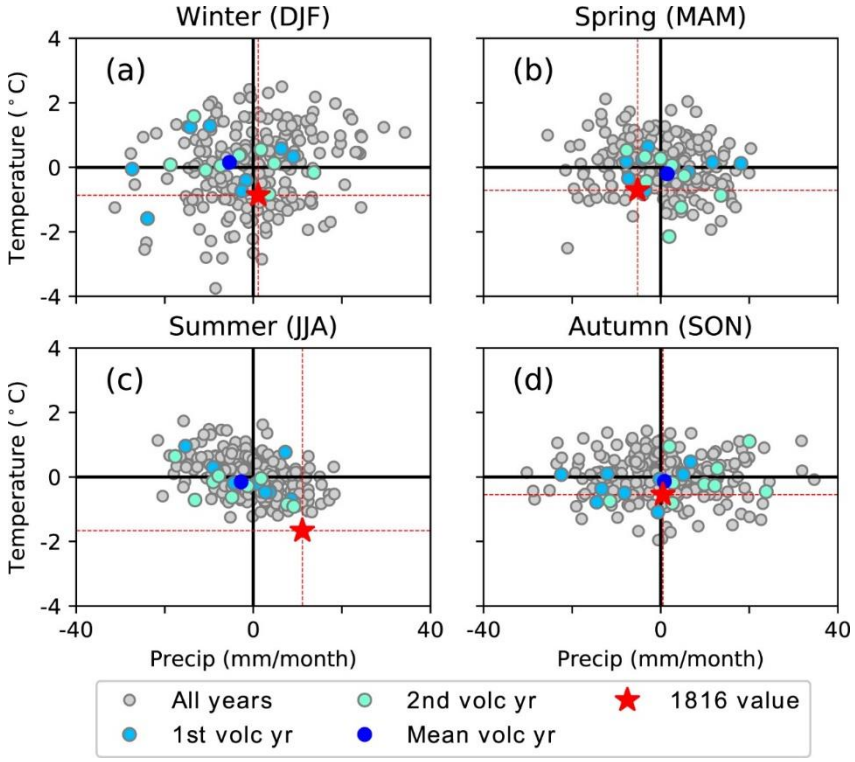


圖 5　相對於歐洲 1781 - 2000 年季節性溫度和降水的平均值 (紅星為 1816 年數據，藍點為其他火山年份，灰點為非火山年份)(Schurer et al., 2019)

中國，由盛轉衰

中國於 1816 年時正值嘉慶 21 年，北半球平均溫度突如其來的下降，在之後的十年裡持續下降超過 2 度，導致農作物產量驟降，經濟陷入停頓。同時，農作物的歉收所引發的饑荒與農民起義造成一系列連鎖效應，並進入長達半個世紀的蕭條。以至於當時清朝康雍乾所經營的百年盛世，開始走上由盛轉衰的不歸路。

火山爆發能否預測？

事實上，大部分的火山爆發不像地震一樣完全無法掌握及預測，不少學者應用 InSAR 技術量測火山噴發前的地表變形量，已獲得不錯成果。如 NASA 利用了 Lundgren et al. (2004) 以 ERS-1 和 ERS-2 衛星觀測埃特納火山 (Etna) 資料所製作之 200 多張干涉圖 (圖 6)，建構了其 1992 年至 2001 年間地面變形的時間序列動畫。可以很清楚的看到火山隨著岩漿在岩漿庫中累積而漸漸膨脹，而岩漿噴發後則可清楚的看到其收縮情形。

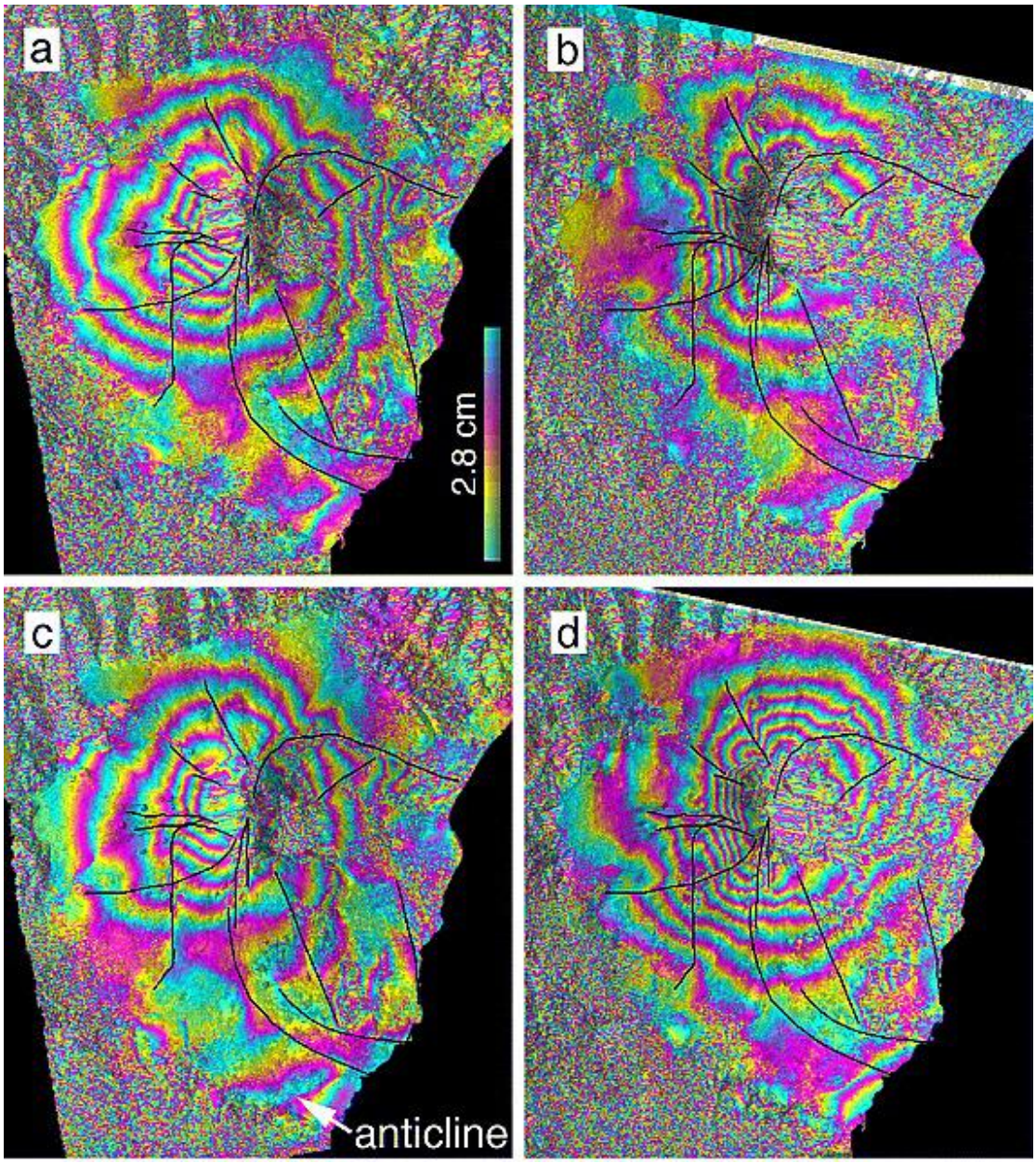


圖 6　使用 ERS-1 和 ERS-2 SAR 數據以 6 年為間隔的干涉圖。(a) 1993 年 5 月至 1999 年 8 月升軌；(b) 1993 年 6 月至 1999 年 12 月降軌；(c) 1993 年 10 月至 1999 年 10 月升軌；(d) 1993 年 9 月至 1999 年 9 月降軌。(Lundgren et al., 2004).

此外，科學家們也透過地表變形的觀測，推測地表下的變化。根據 COMET (University of Bristol) 使用 Sentinel-1 對於阿貢火山 (Agung) 之觀測數據顯示，在 2017 年 11 月 27 日阿貢火山噴發之前，阿貢火山和鄰近的巴杜爾火

山 (Batur) 兩者同時於 8 月至 11 月間開始隆起。此研究證明了這兩座火山下可能有一個連接的管道系統，讓岩漿能在火山下方相互移動，也為地球物理相關研究提供了新證據 (圖 7 及圖 8)。

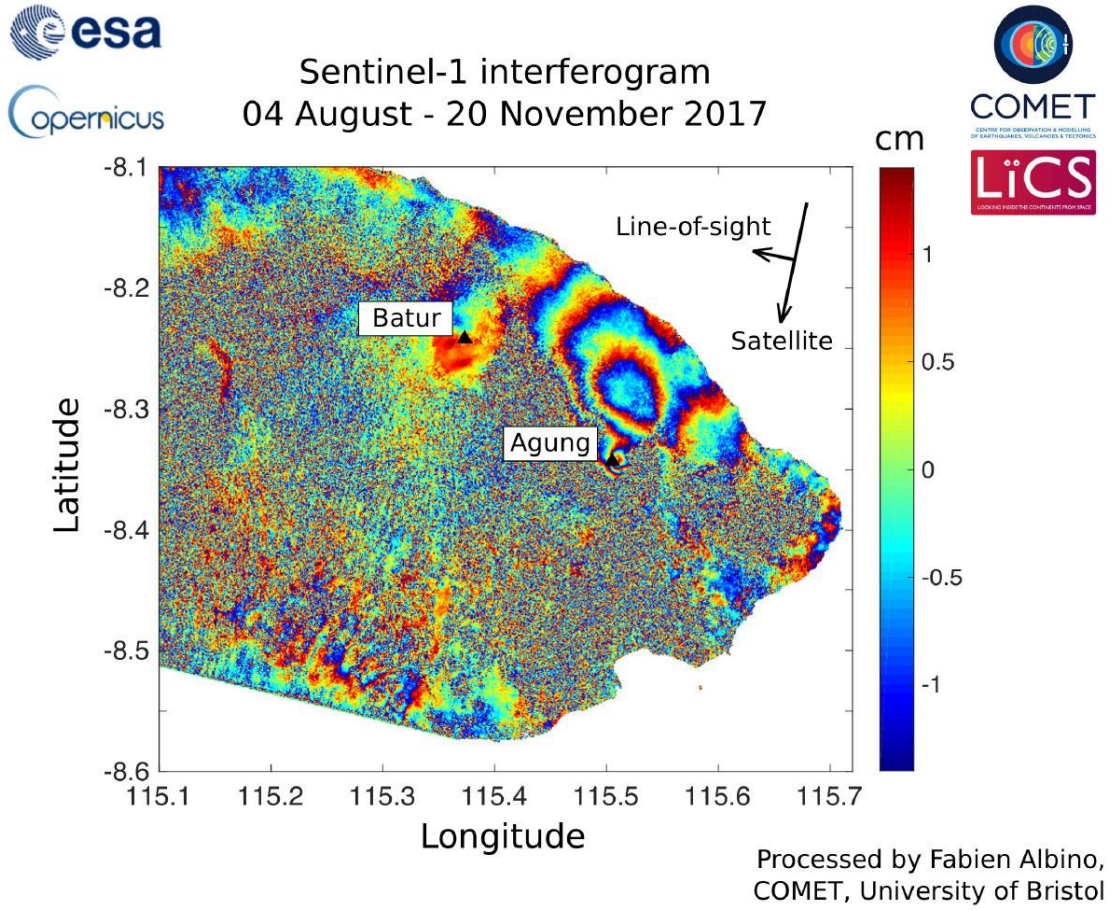


圖 7　阿貢火山 Sentinel-1 干涉圖 (COMET)

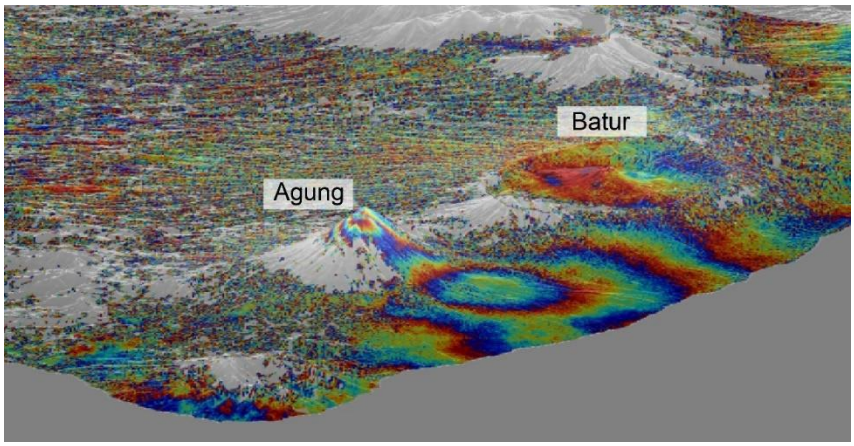


圖 8　阿貢火山及巴杜爾火山套疊地形圖 (COMET)

洞燭機先－架設於 GEE 上的火山熱點指數平台

Genzano et al. (2020) 利用 GEE 平台上的多光譜衛星資料，以熱對於不同光譜的吸收及反射率，建構正規化熱點指數 (Normalized Hotspot Indices, NHI) 工具。此分析工具能識別全球的火山並繪製該火山之熱異常情形，分析其具有危害的風險熱點，進而提供相關的研究或預警。而該建構之 GEE APP 無需身份驗證，可直接於線上使用 (圖 9)。

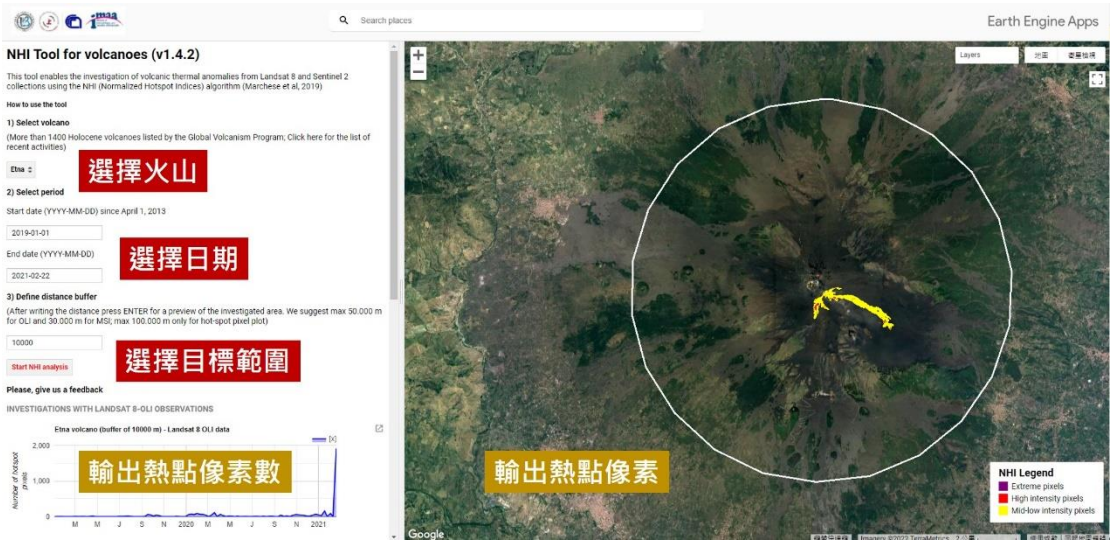


圖 9　正規化熱點指數 GEE APP GUI 介面 (Genzano et al., 2020)

➢ (六)測繪圖資新利器-淺談新式地質製圖方法(新興科技應用)

測繪地質圖的難處

地質圖(圖 10)為地質學門研究的重要基礎，其提供之區域地質資訊可作為野外地質調查時的參考。傳統測繪地質圖，係以野外調查為主，由地質學家實際走訪野外，沿河谷或海岸沿線露頭調查，紀錄區域之岩性、地質構造、位態等資料。惟受限於部份區域植被覆蓋或地形過於險峻且難以抵達，使得傳統測繪及製圖時，仍須仰賴地質學家以零星之露頭調查資料結合作圖法推測，並建構出區域地質樣貌。因此，在傳統測繪製圖上仍存在一些無法克服的限制。

地質製圖的發展

現今，隨著科技發展，空載光達與無人載具空拍技術已能克服傳統地質調查

時的限制，其產製的高精度、高解析度之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)可用來作為地表微地形特徵判釋的基礎底圖，且加上電腦軟硬體的精進，如今地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)可進一步將數值高程模型立體化(圖 11)，提供三維的各種光影與視角，讓地質學家以更全面性的視野，於室內先進行岩層線形與構造判釋，描繪出地表岩層與斷層分布，輔以過去文獻收集與彙整，補足野外調查的限制與節省耗費於野外為尋找合適露頭的時間。

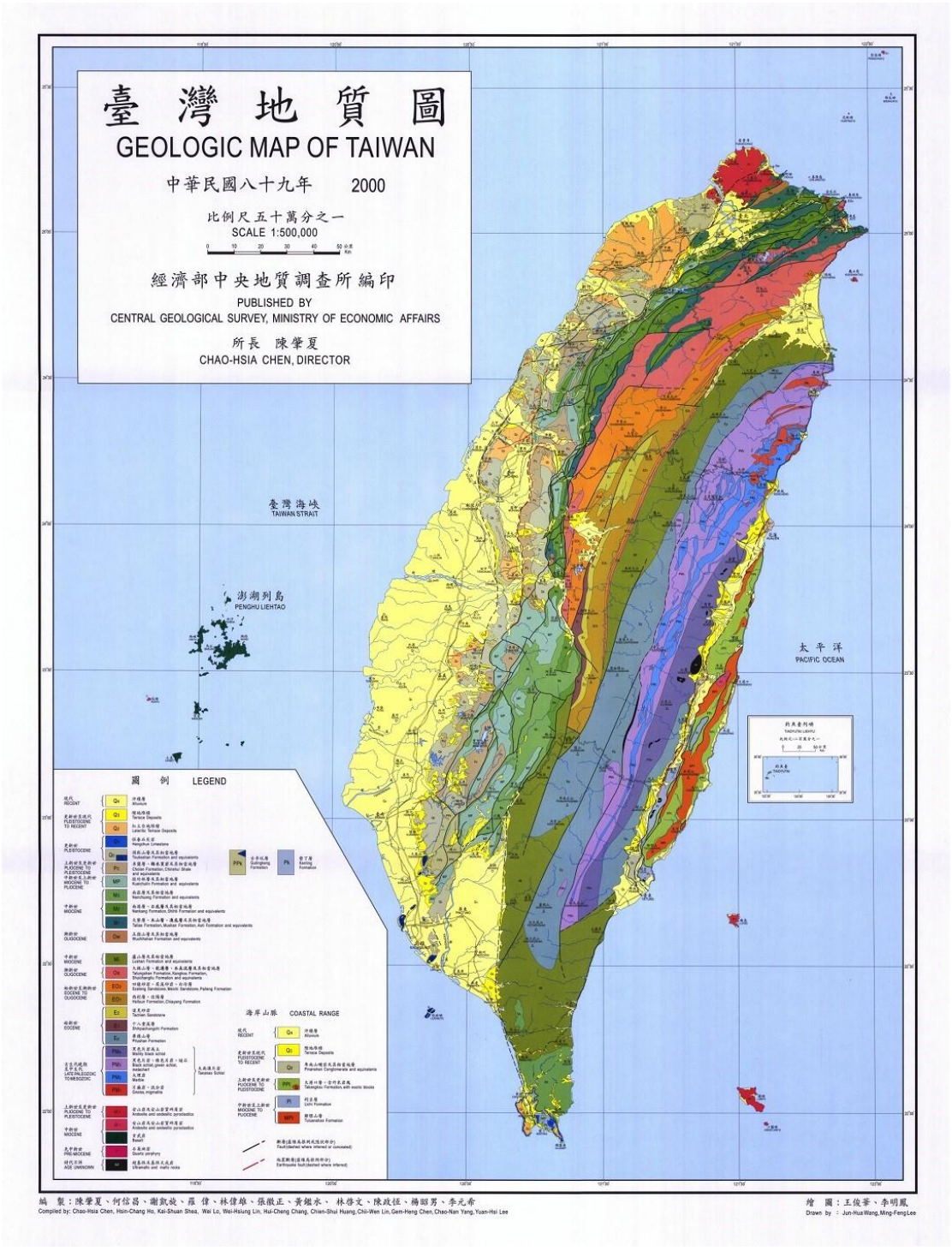


圖 10 五十萬分之一台灣地質圖。(摘自地調所，2000)

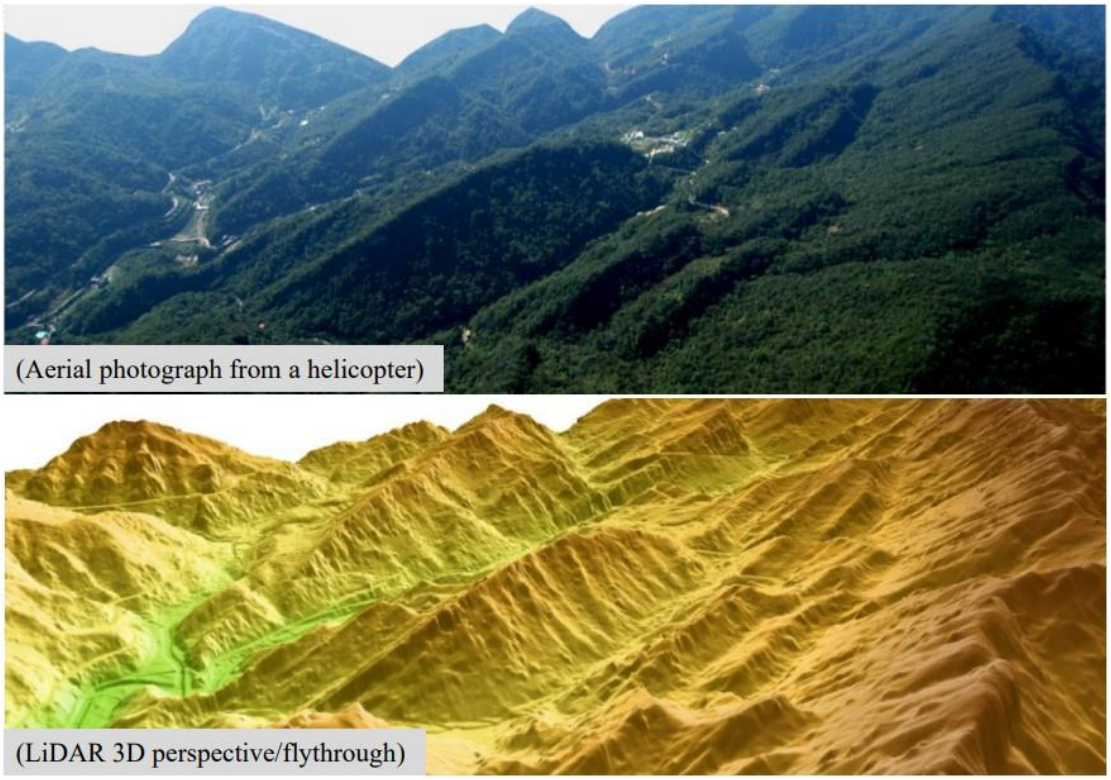


圖 11 順向坡地形。(摘自詹瑜璋，2021)

精進製圖的方法

善用三維立體展圖視覺化的特色，結合光源、視角或其他參數的調整(圖 12)，可強化數值地形影像之細微特徵，並使地質人員於判釋時，可更清楚判讀各類岩層與構造線性(斷層、褶皺)及其他岩性之地表特徵，同時藉由電腦計算位態(圖 13)，輔以查核、驗證野外調查成果之正確性。

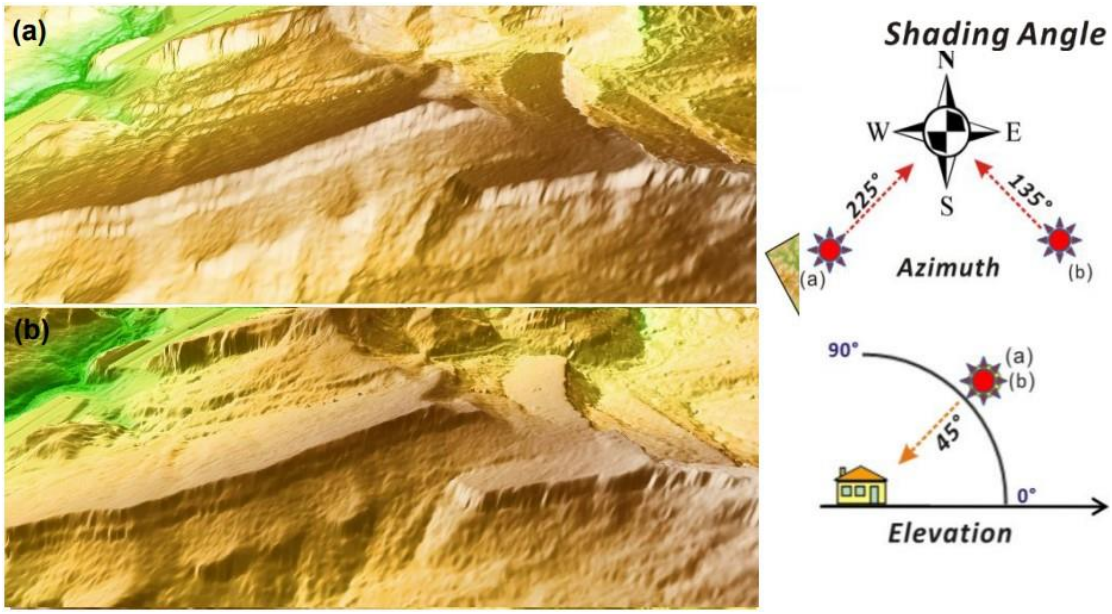


圖 12　不同光影呈現效果之數值地形圖。(摘自詹瑜璋，2021)

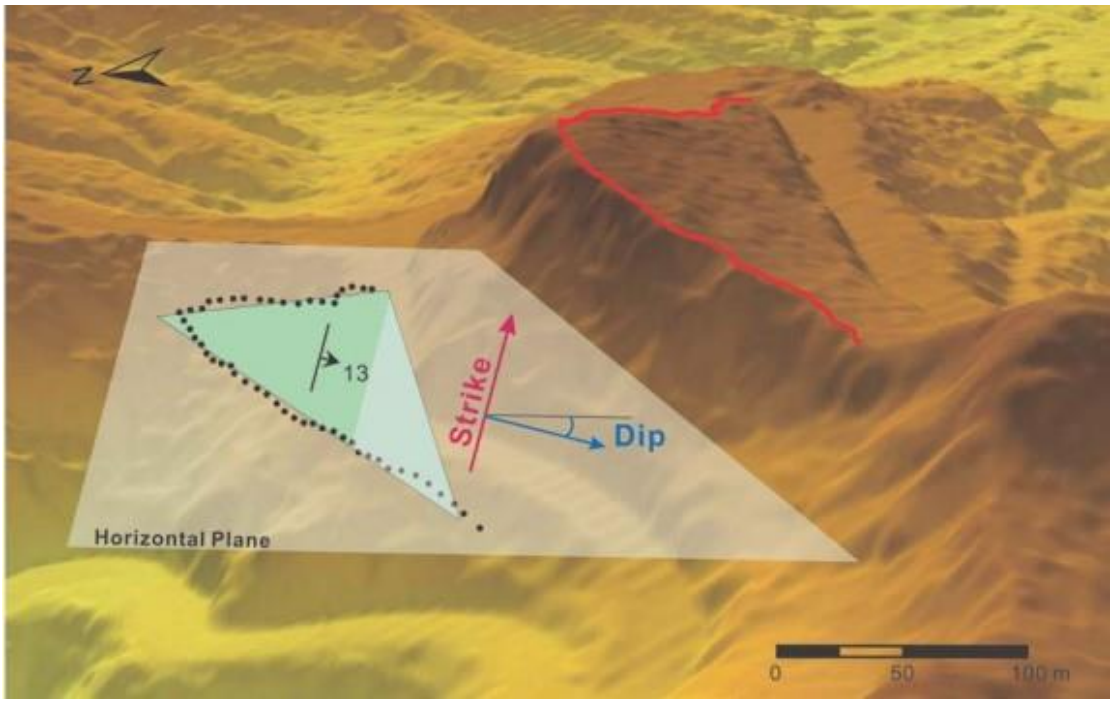


圖 13　回歸面與地層位態計算示意圖。(摘自施乃慈，2018)

站在巨人的肩膀上-前人研究與文獻的重要性

過去地質學家們的野外研究，亦是測繪地質圖的重要基礎。例如位態與岩性等前人野外調查的資料，結合高精度數值高程模型，針對各特徵進行分類，可避免誤判構造線形種類，降低研究過程中人為誤判的風險。且隨著時代變遷，許多良好的露頭因工程或人為開發，已不復見，因此在測繪地質圖前，對於前人研究

的彙整(圖 14)，是不可或缺的重要工作。

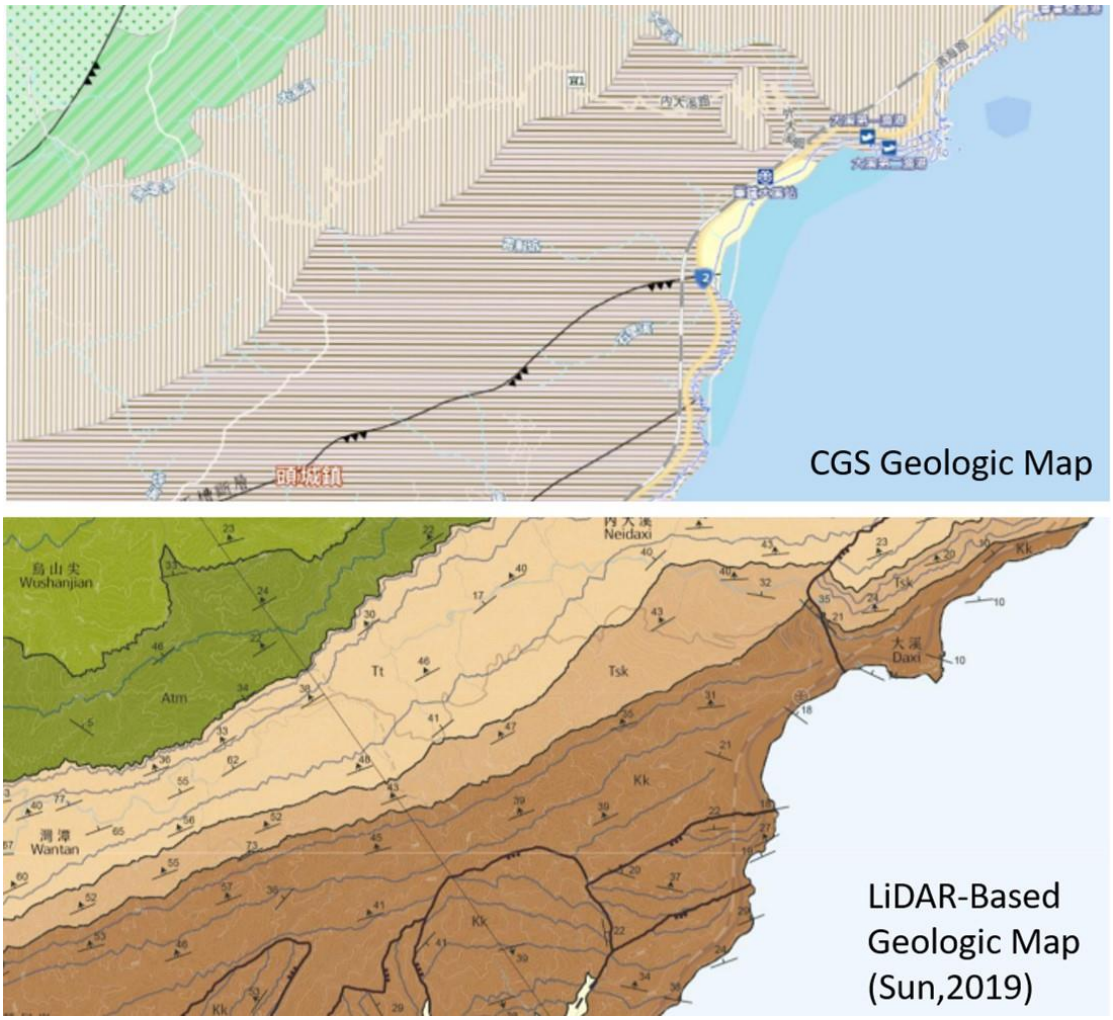


圖 14　新舊地質圖幅比對。(摘自詹瑜璋，2021)

傳統地質製圖的限制

由於過去製圖可能因資料缺乏，繪製的界線線形常無法考慮地形特徵，僅能仰賴地質學家以經驗法則推測製圖，致使小比例尺及工程大比例尺的地質問題研究上，仍有許多空缺。例如，傳統測繪之地質圖，岩層界線多以圓滑曲線呈現(圖 15)，且岩層線段多以平行等厚的概念利用等距測繪法繪製。

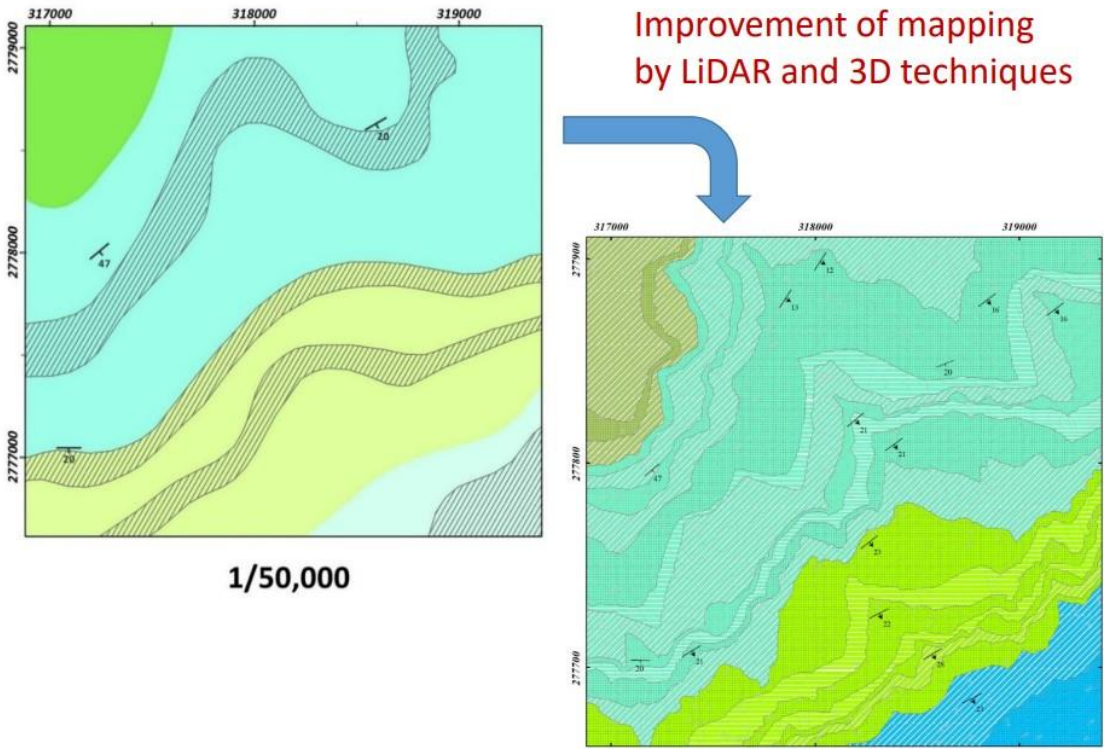


圖 15　新舊地質圖幅岩層界線比對。(摘自詹瑜璋，2021)

新式地質製圖的優點

利用高精度、高解析度數值高程模型所測繪之地質圖，因其可全方位的展現地表地形上的構造線形特徵及其位態資訊，使地質學家能更精準地描繪、掌握並建立地層邊界與地質構造的正確地理位置(圖 16)，並克服傳統地質製圖因人力無法到達及受限於植被覆蓋的限制，精進現有的地質圖。

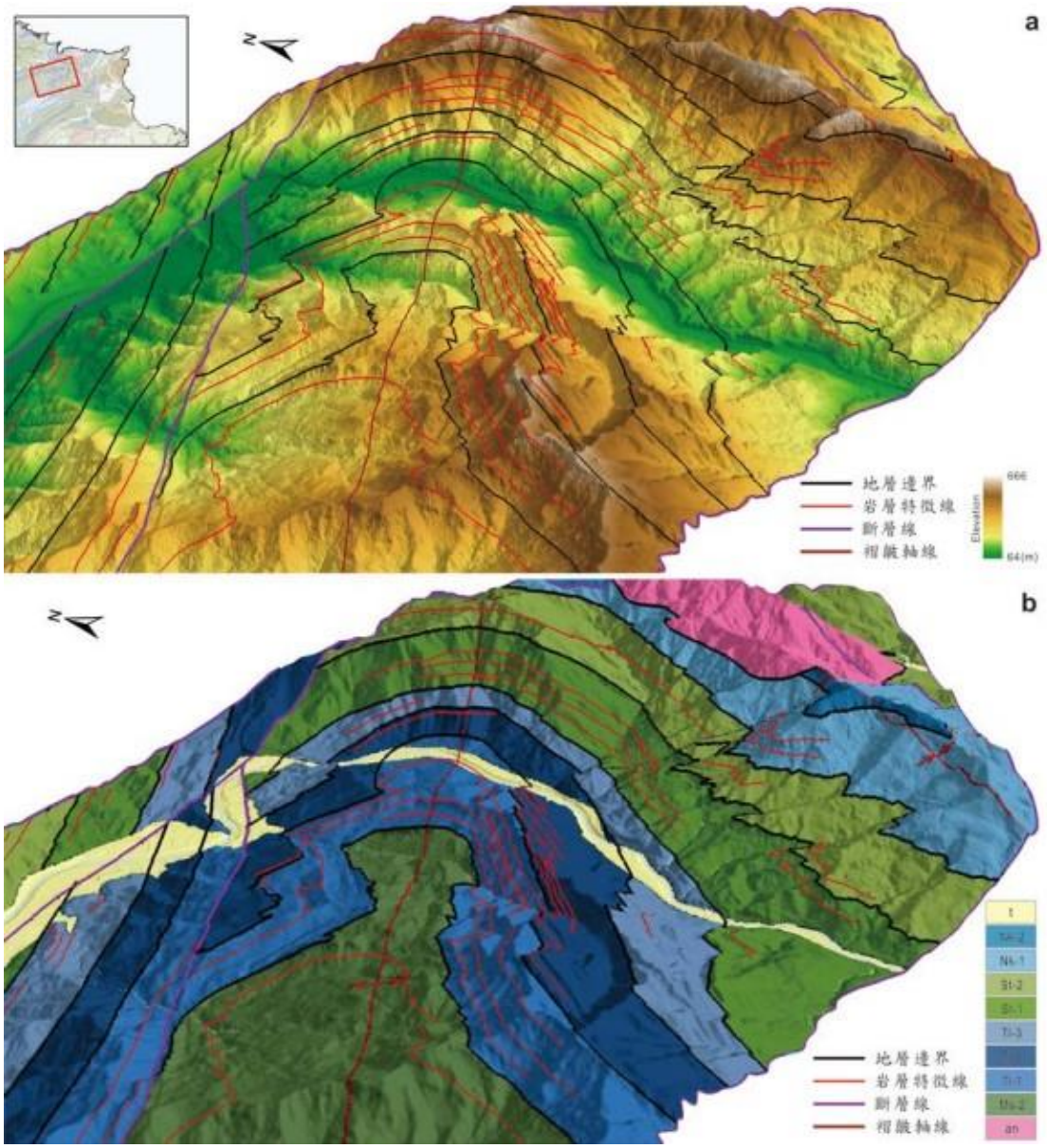


圖 16　背斜構造，(a)立體數值高程模型；(b)立體地質圖。(摘自施乃慈，2018)

新形態地質製圖之限制

儘管在數值高程模型上測繪崩積層之岩層線與構造線時，此線型代表該構造在地形上可能出露之位置，但因為崩積物可能覆蓋岩石差異侵蝕的地形，使之呈現半圓錐狀或使地層厚度增加(圖 17)，造成真實邊界投影至地表的位置有所偏差。因此在線型的位置判釋，仍須仰賴地質學家實地走訪調查其誤差或判斷真實性。同時，對於大範圍之人為開發區域(圖 18)，因缺乏許多連續地質構造線型特徵，僅能仰賴前人文獻的野外調查及更多地質學家們於野外查核所獲得之成果，

建構該區域之原始地質樣貌。

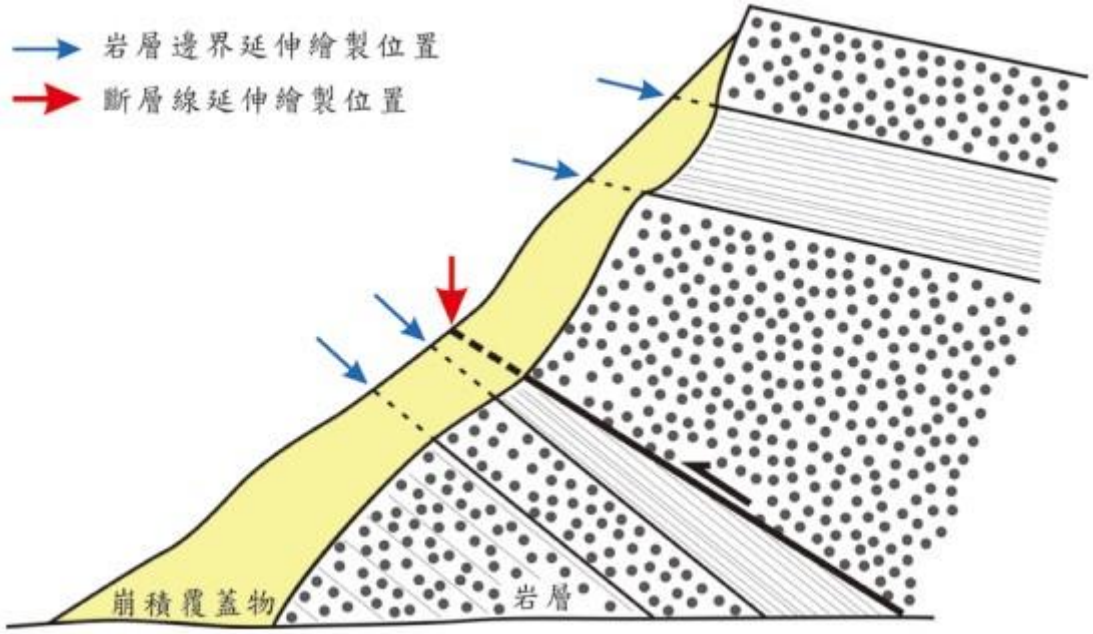


圖 17　崩積覆蓋岩層之線型於崩積物剖面測繪示意圖。(摘自施乃慈，2018)

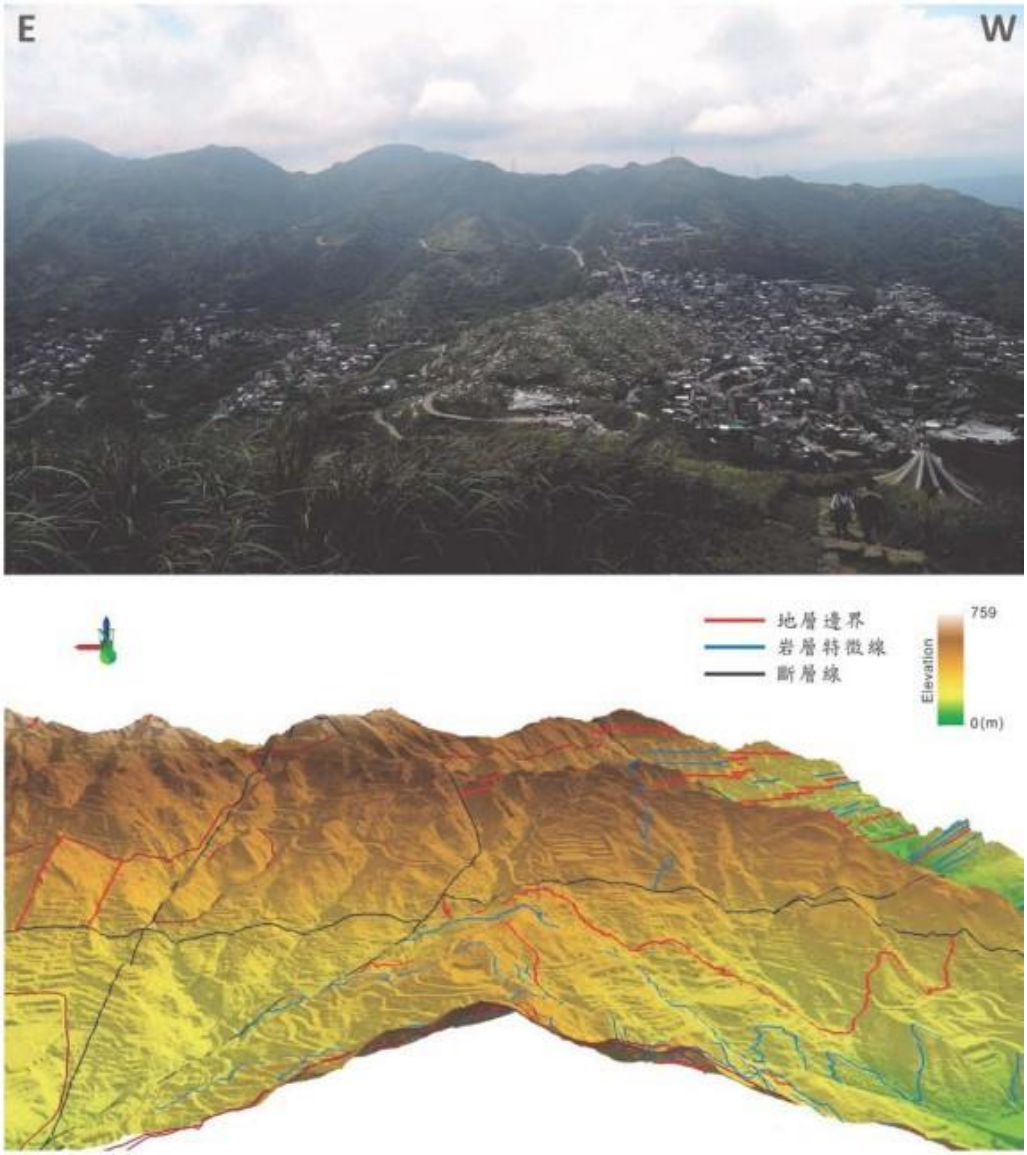


圖 18　人為開發區域野外照片與立體數值高程模型圖對比。(摘自施乃慈，2018)

地質製圖之展望

現今，透過整合前人研究資料與文獻，加上空載光達及無人飛行載具的應用，以及電腦軟硬體設備的快速發展，使地質學者們發展出更詳細、廣域及全面性的新式地質圖製圖流程。同時，在三維測繪環境中突破傳統地質測繪製圖之限制，提供更高精度、解析度與富有立體化之新一代地質圖，使其具有更多地質資訊，提升其實用及準確性。

➢ (七)我們是怎麼走到這一步的？氣候危機的根源

回顧 2021 因為極端氣候，各地災情頻傳，夏季熱浪屢創歷史性的新高，乾燥導致野火燎原。種種不穩定的跡象，讓國際科學小組將主要的成因指向人類(圖 19)。本期電子報將介紹科學家們探尋到氣候危機的根源，並藉由這些人類活動的足跡，進一步發現人類活動對氣候變遷帶來的影響。



圖 19　人類活動對大氣造成影響(SAM FALCONER)

極端氣候造成的影響

110 年夏季熱浪衝擊美國西部多座城市，不但氣溫刷新歷史新高，更造成數百人死亡。同月，在緯度相對較高的加拿大，也因攝氏 50 度的高溫引發野火，波及並燒毀周圍的村莊(圖 20)。研究顯示自 1850 年工業革命至 1900 年，地表的平均溫度至少上升攝氏 1.1 度，正是因為人們在這個時期大量的燃燒化石燃料（如煤和天然氣）以及砍伐森林時產生的吸熱氣體釋放至大氣所造成的影響。



圖 20　110 年加拿大不列顛哥倫比亞省發生大規模野火(ABACA VIA REUTERS CONNECT)

或許，全球升溫 1 度聽起來可能不多，但足以從根本改變能量在地球上的流動方式。例如，格陵蘭島和前幾期電子報介紹有末日冰川之稱的南極洲思韋茨冰川 ，暖流影響使冰川底層的冰棚產生裂痕。大範圍的乾旱使農田和灌溉河流枯竭，加上海平面上升，使得低窪島國和沿海城市洪水氾濫衝擊衝擊稻作。野火肆虐讓降雨變得越來越強烈，也連帶地改變各地區或國際間天氣模式的模擬及研究(圖 21)。



圖 21　110 年 6 月 30 日野火摧毀加拿大不列顛哥倫比亞省的 Lytton (COLE BURSTON/AFP VIA GETTY IMAGES)

二氧化碳是怎麼被發現會吸熱的?

1850 年某天，美國科學家和女權活動家 Eunice Newton Foote 將兩個玻璃罐放在陽光下，一個裝著普通空氣，另一個只有二氧化碳。隨著太陽光線增減，Foote 觀察到僅裝有二氧化碳的罐子，比普通罐子加熱得更快，但冷卻得更慢。她在 1856 年發表的論文提出，二氧化碳在大氣層中會帶給地球高溫(圖 22)。



圖 22　Eunice Newton Footee 觀察到二氧化碳會將地球加熱(CARLYN IVERSON/NOAA CLIMATE.GOV)

1859 年愛爾蘭物理學家 John Tyndall 當時並不知道 Foote 的發現，但他使

用更精密的儀器去量測圖 23()。他運用一組管道和設備來研究熱量的傳遞，在充滿氣體的管線發射紅外輻射，並測量由此產生的溫度變化。實驗結果顯示，二氧化碳以及水蒸氣會比單獨的空氣吸收更多的熱量；這些氣體會吸收大氣中的熱量，就像溫室的外牆玻璃板會吸收熱量，進而調節氣候。兩人的理論對二氧化碳會吸熱的特性，不謀而合。既然大氣中的二氧化碳會影響環境，那麼二氧化碳是什麼時候開始足以撼動整個氣候環境呢？

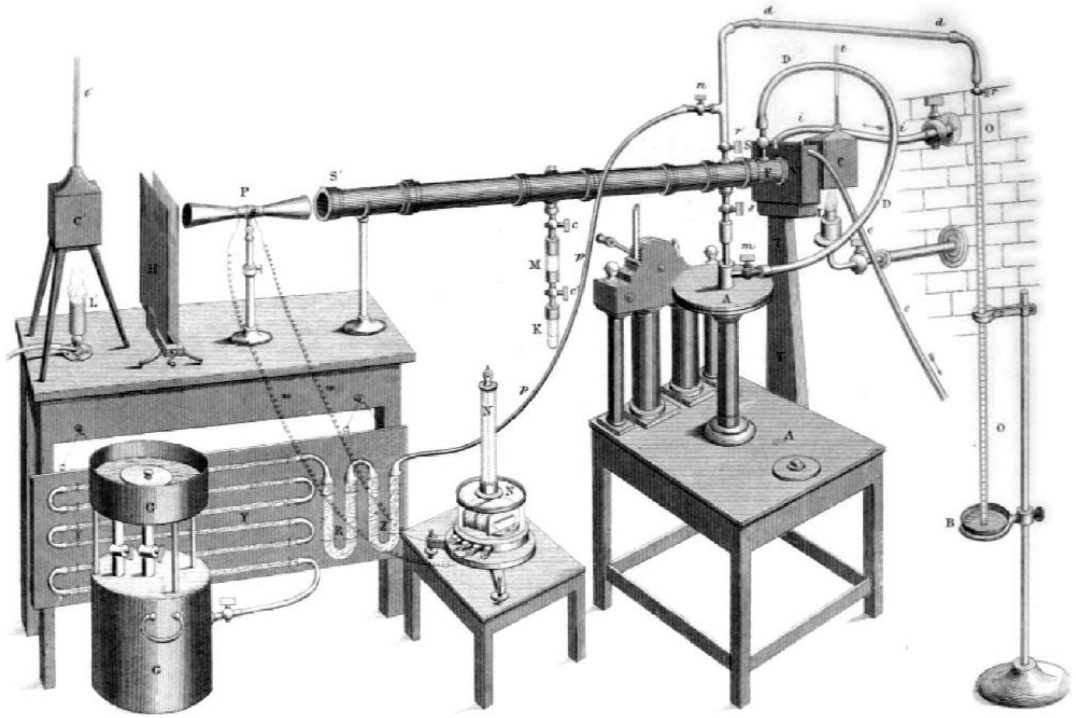


圖 23　John Tyndall 使用 Sensitive Ratio Spectrophotometer 測量溫度變化 (J. TYNDALL/WIKIMEDIA COMMONS)

二氧化碳大爆發時期

工業革命於英國發展期間，除了工廠燃燒成千上萬噸的煤，以化石燃料為運作能量的蒸汽機徹底改變交通運輸和其他行業。從那一刻起，包括石油和天然氣在內的化石燃料被用來推動全球經濟，人類因此開始對大氣產生重大影響。然而，1903 年諾貝爾化學獎得主－瑞典化學家 Svante Arrhenius 在 1800 年代後期研究 CO2 變化時並不擔心工業革命。相反地，他對冰河時代感到好奇，其中也包含火山噴發的減少是否會導致未來的冰河時代。

在 Svante Arrhenius 耗時數個月的艱苦計算下，分析不同緯度地區大氣中的水分和熱量傳輸。他於 1896 年的論文指出，CO2 含量減半確實會加速帶來冰河時期；若 CO2 增加一倍將使全球氣溫升高約 5 至 6 攝氏度。隨後，英國工程師兼業餘氣象學家 Guy Stewart Callendar 隨著時間的推移對天氣記錄進行統計，確定了全球 147 座氣象站的平均氣溫正在上升。在 1938 年皇家氣象學會期刊上，他將這種溫度升高與燃燒化石燃料的關係聯繫起來，預估自 19 世紀末以來，大約 有 1500 億公噸的 CO2 排放到大氣中(圖 24)。

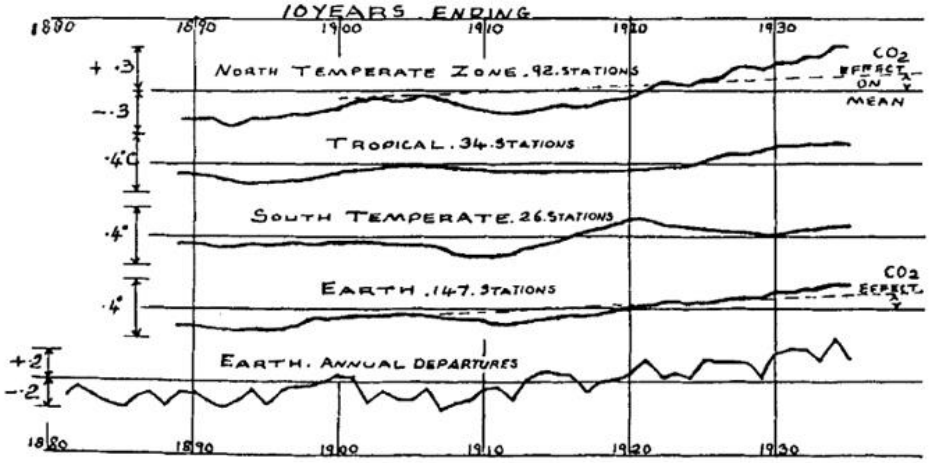


圖 24　人為產生的二氧化碳及其對溫度的影響 (G.S. CALLENDAR)

基林曲線的誕生

另一項推動二氧化碳研究的是，1957-1958 年間為期 18 個月的國際地球物

理年(International Geophysical Year，IGY)的項目，這項任務由美國地球化學家 Charles David Keeling 執行(圖 25)，目的是為了準確且一致地測量世界各地不同地點的 CO2。他在夏威夷莫納羅亞火山(volcano of Mauna Loa)放置超精確的 CO2 監測器，由於這項計畫更誕生了科學界中頗具標誌性的數據集之一：基林曲線(The Keeling curve)。



圖 25　地球化學家 Charles David Keeling (SIO PHOTOGRAPHIC LABORATORY RECORDS)

1958 年 Keeling 開始測量時，CO2 佔全球大氣的百萬分之 315(315ppm)，但短短幾年內，數字明顯逐年增加。因為植物在春季和夏季生長時會吸收 CO2，並且在秋季和冬季分解時釋放出來，因此 CO2 濃度每年呈鋸齒狀上升和下降（藍線），但疊加在全球的 CO2 模式上則可以發現是逐年上升（藍底）。Mauna Loa 天文台觀測資料顯示(圖 26)，基林曲線每年都在上升，而且 CO2 在每年 9 月份通常是整年度的最低值，但 2016 年的含量卻超過 400ppm；110 年

則持續上升至 413ppm。這讓研究人員更想了解過去是怎麼樣的氣候模式，以及工業革命前各類氣體在大氣中的含量比例。(備註：工業革命前，CO2 在幾個世紀以來一直維持在 280ppm 左右。)

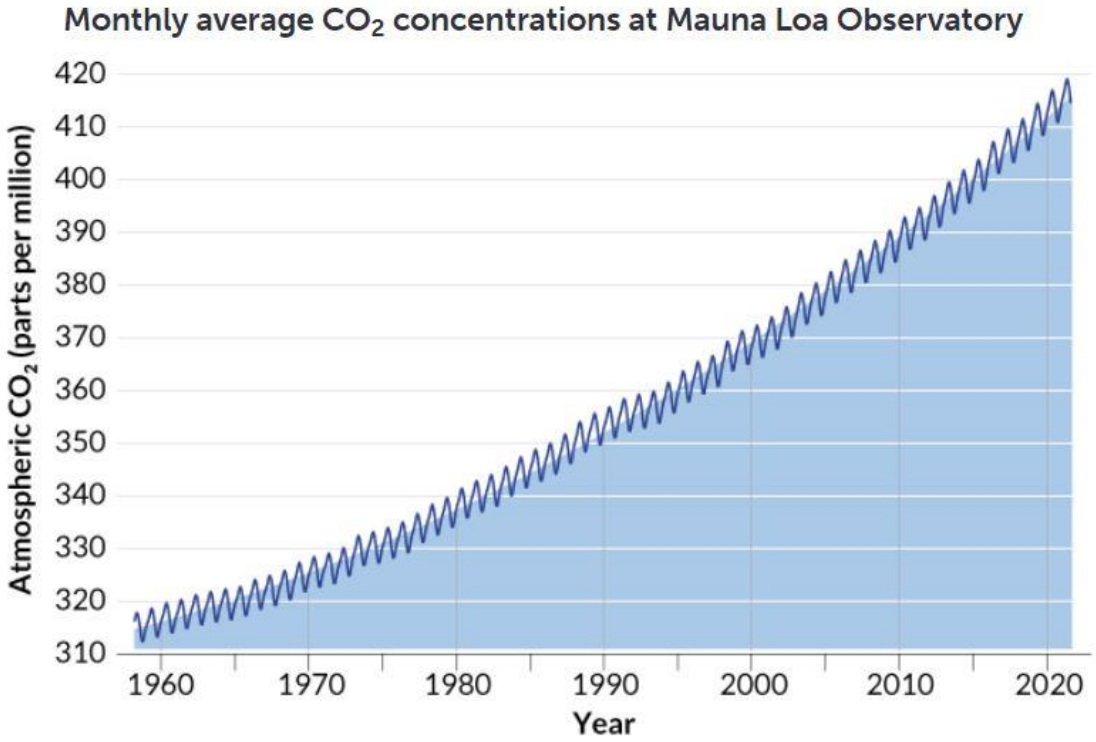


圖 26　Mauna Loa 天文台月平均二氧化碳 (JIM WEST/SCIENCE SOURCE)

閱讀歷史的頁面－冰芯

為了瞭解更多歷史的氣候細節，科學家們於冰層(ice sheet)中鑽孔而得的冰芯/蕊(ice core)(圖 27)，成為過去氣候變化最有力的見證。在南北極，每年的降雪都會落在既有的冰層上，再藉由本身的重量壓縮成一層新的冰，每一冰層形成時都代表著當下的氣候條件。另外，存在冰層中的結晶樣式或同位素的化學元素，可使科學家計算其形成的溫度；而冰層內的氣泡則顯示當時的二氧化碳和其他溫室氣體的含量。



圖 27 美國國家科學基金會冰芯部門收存超過 22000 公尺的冰芯(JIM WEST/SCIENCE SOURCE)

另外，衛星也從 1960 年代加入全球變暖及冰層變化觀測的行列，為這個領域帶來了新的全球視角。從天空的角度來看，衛星量測到全球海平面的上升，預估是每年上升 3.4 mm，但會隨著海水變暖及冰層融化而加速上升。此外漂浮在北冰洋上的大型浮冰，也正迅速地消失。近幾十年來，北極海冰覆蓋率會在每年得夏季降至總年度的最低值。在 1979 年時，海冰的覆蓋最小範圍為 690 萬平方公里，到 110 年已經下降到 472 萬平方公里了。如此劇烈的氣候變化證據顯示，即便全球氣候變化趨緩，氣候變遷已是不可逆的結果。

➢ (八)當影像辨識從 2D 走向 3D－電腦如何看見世界？

影像辨識作為人工智慧應用的一環，已廣泛用於生活周遭，不管是辨別影像上的物件，或是對不同物件進行分類等，電腦藉由影像轉換、色彩調整、像素之間的對照與分類，最終能辨識圖像目標，勾勒物件輪廓(如圖 28)。

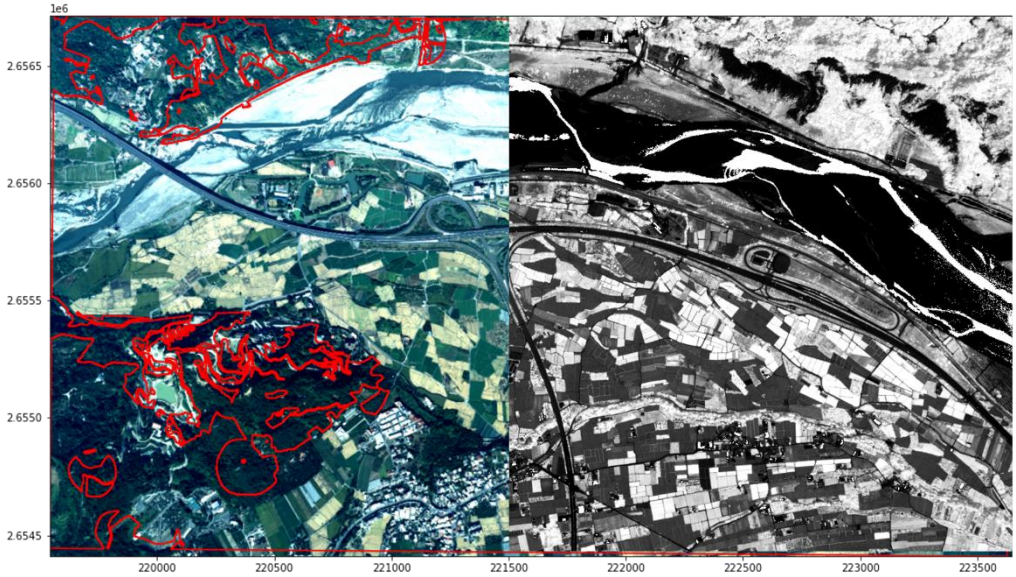


圖 28　興創知能開發之 TronGisPy 應用於森林圖資圈繪。來源：TronGisPy

這些技術的背後不僅有電腦視覺的理論基礎，面對不同應用情境，也有不同的影像訓練方式。試想，當遙測與光達技術不斷提升時，我們熟悉的 2D 影像技術，是否有更多應用的可能性？本期電子報將帶大家回顧機器學習的發展、觀察國內不同領域的應用、以及目前國際研究趨勢。

影像辨識的發展脈絡

過去約莫 20 年間，大數據浪潮席捲世界，從早期由數據萃取資訊，融合經驗形成知識，到 2012 年 Gartner 對大數據定義的 3 個 V，Volume（量體）、Velocity（速度）和 Variety（多樣性），藉由儲存技術與演算法改良之賜，數據時代逐漸走向智慧時代(如圖 29)。

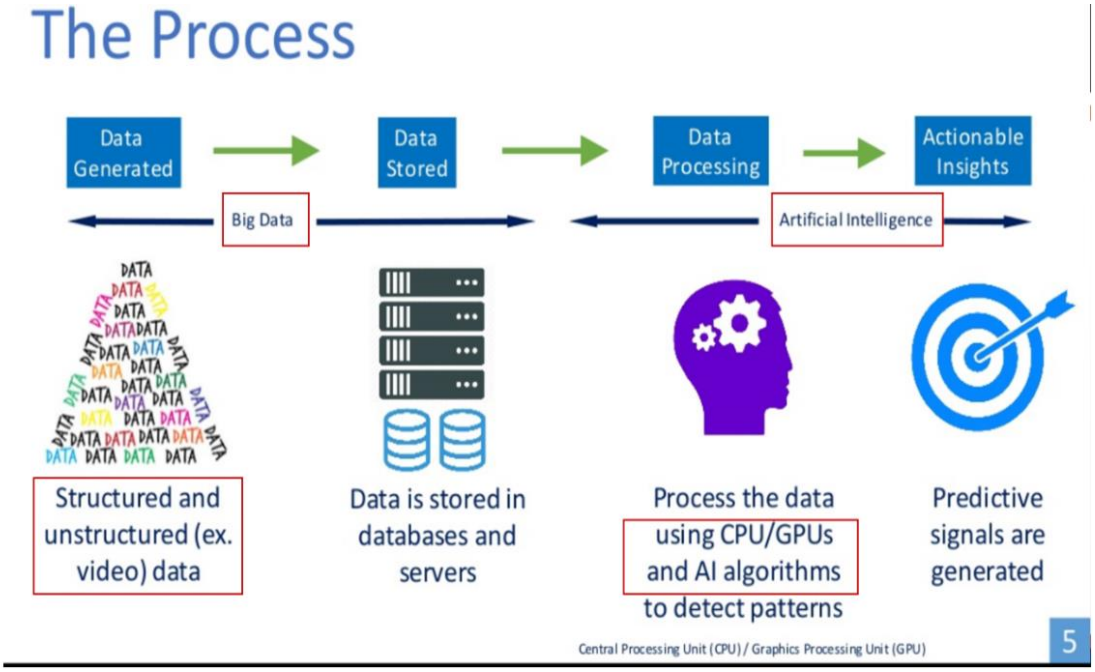


圖 29　從 BigData 到 AI。來源：taccplus.com。

人工智慧（Artificial Intelligence = AI）廣義來說，是電腦經由程式設計後，能表現出近似人類智慧的行為，而機器學習是達成人工智慧的其中一種方式，藉由大量資料的處理與訓練，讓電腦找出背後隱藏的公式法則(判斷模型)。在這些演算法中，目前最成熟、應用最廣，也進一步促成這波 AI 應用大爆發的，就是深度學習演算法(如圖 30)。

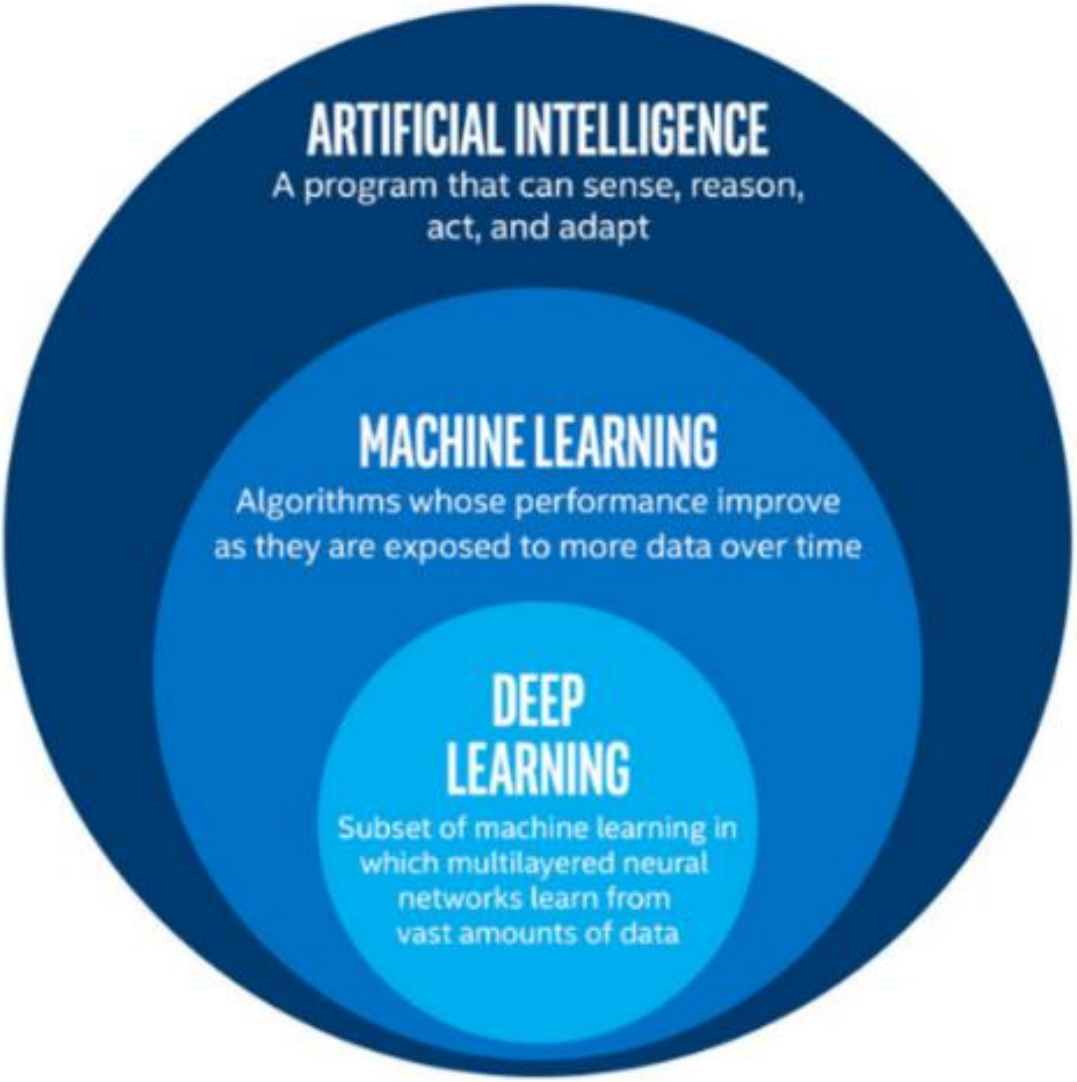


圖 30　人工智慧、機器學習與深度學習架構圖。來源：www.prowesscorp.com

機器學習的方式，可概分為三種，監督、非監督以及強化式學習，不同方式有著不同的優點，同時也有其限制(如圖 31)。

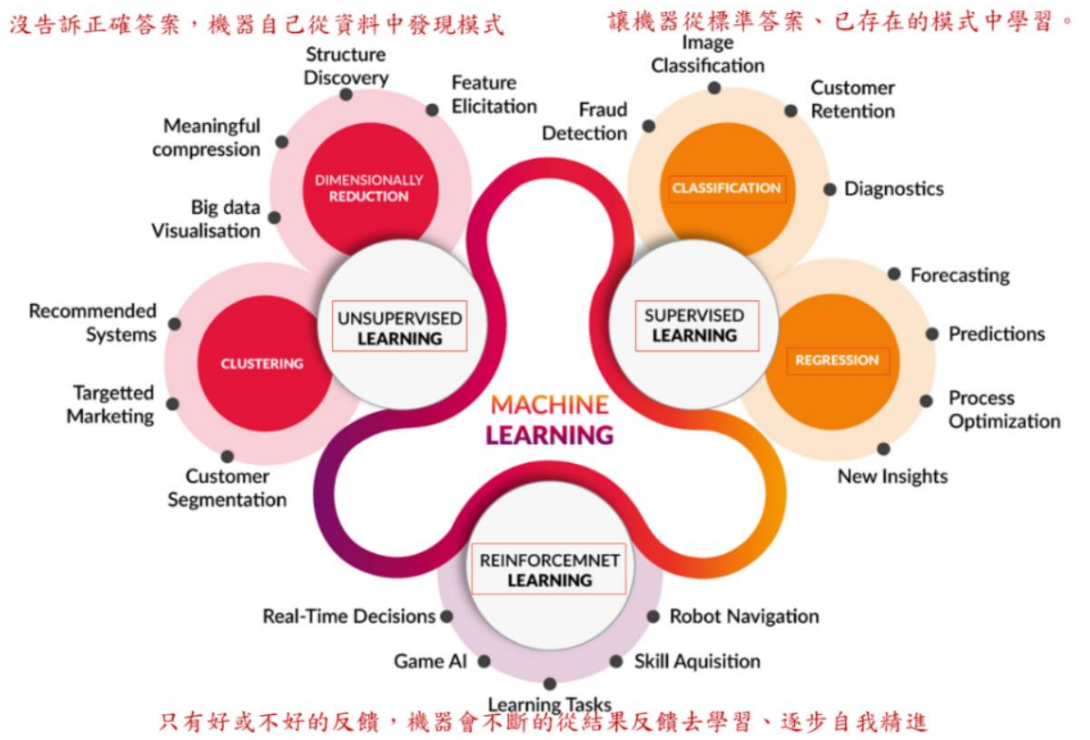


圖 31　機器學習的 3 種方式。資料來源: Hackernoon

在有了上述的背景概念之後，下一個問題便是，電腦究竟是怎麼看圖像的呢？人類觀看世界的方式(如圖 32)，跟電腦觀看的方式有很大的不同；對電腦來說，依靠的是不同顏色的小點(像素，pixel)，以不同方式的排列來分辨圖像(如圖 33)。



圖 32　人眼看世界的方式。來源：廖弘源，研之有物|中研院。

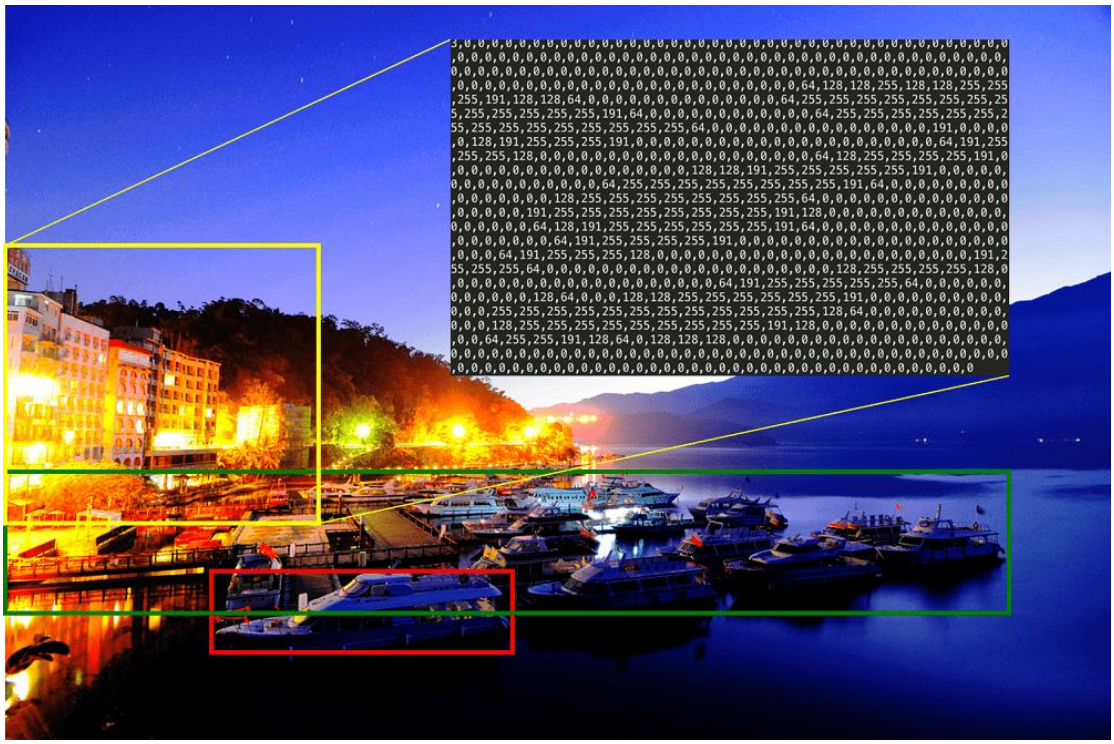


圖 33　電腦看世界的方式。來源：廖弘源，研之有物|中研院。

當電腦使用像素的方式儲存圖像後，便能針對排列的規則(如圖 34)，應用不同演算法，進行特徵的掃描與歸納，最後得出像素的特徵矩陣（如圖 35），作為後續辨識的模型。

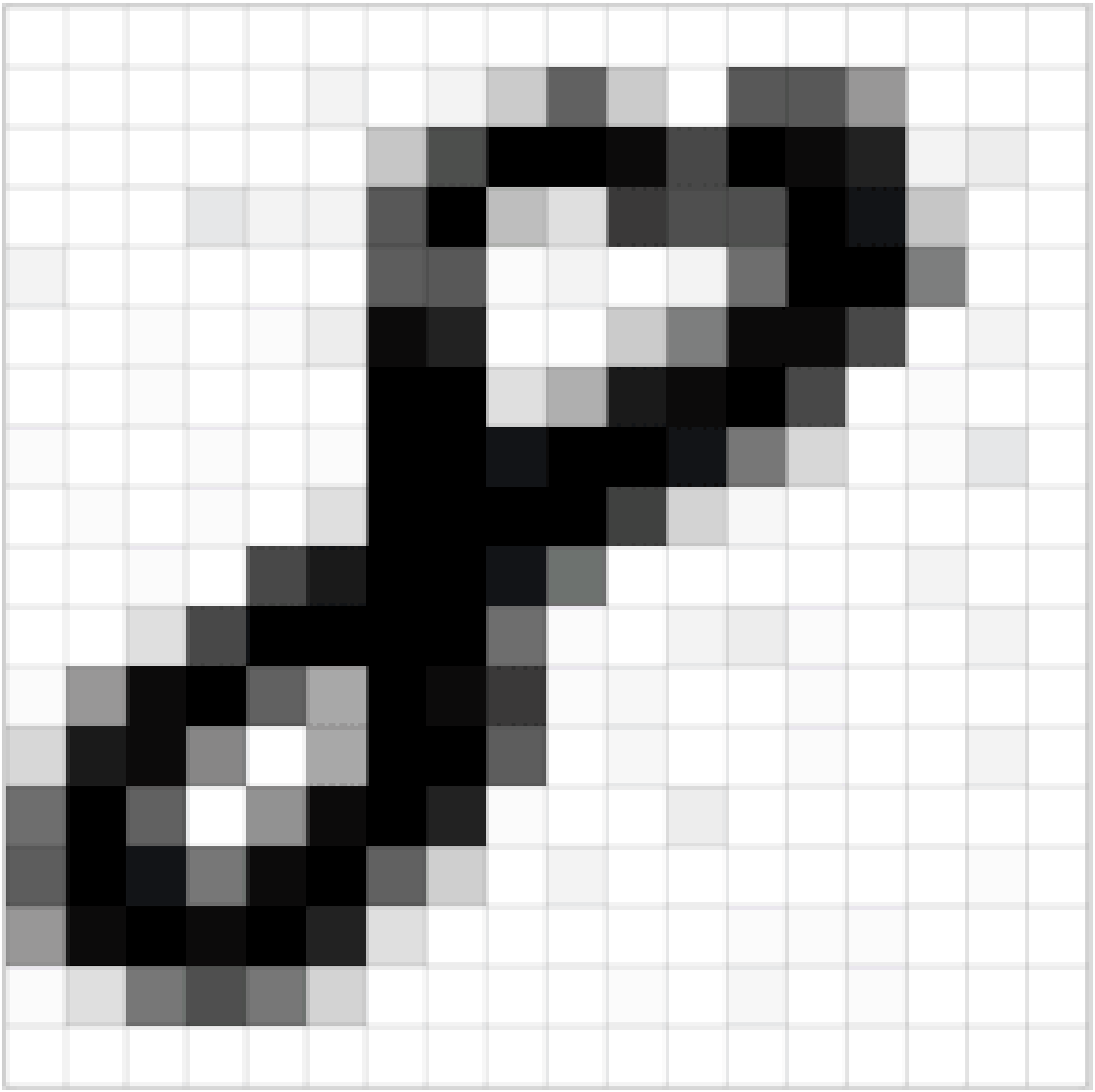


圖 34　影像轉換成像素方式儲存於電腦中。來源：www.twblogs.net

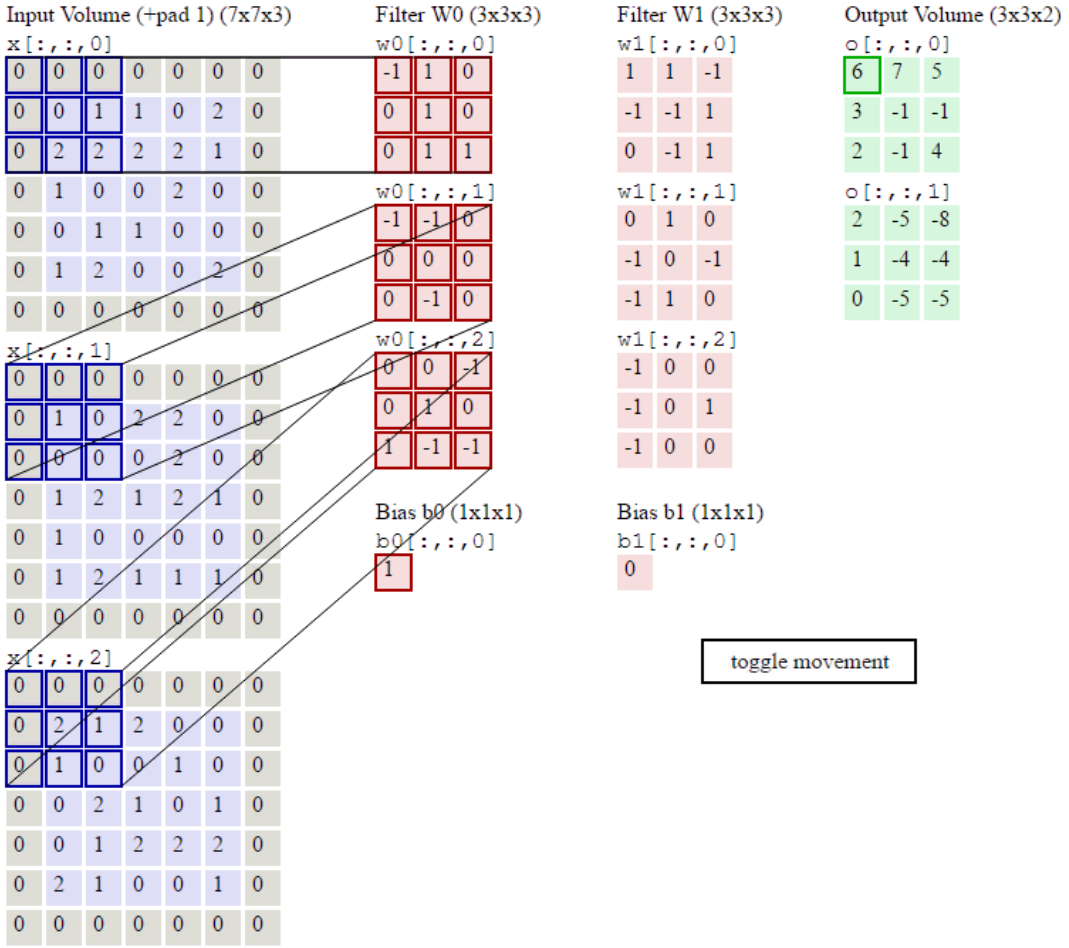


圖 35　圖解卷積神經網路演算法。來源：www.twblogs.net

產業與開源套件應用

上述像素轉換與特徵的萃取，加上大量的影像資料，結合訓練方式所得到的模型，便能使電腦獲得辨識影像中物件的能力，以此進行分析、統計、框選與比較，並進一步應用於不同議題與領域。比如遙測影像分類、防災監測、設施與巡檢、人流統計與自動駕駛、水位尺狀態偵測等(如圖 36)。



圖 36　影像辨識應用案例。來源：興創知能。

例如，國內的興創知能公司以 Python 語言為基礎，整合 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)，開發了 TronGisPy 套件(如圖 37)，以開源的 MIT 授權釋出。這個 GIS 影像自動化處理開源套件，能提供機器學習前處理、後處理功能，加速資料處理速度，建置 GIS 自動化流程，其簡化的 GDAL 介面、Python 介面等，能讓工程師快速開發多種應用(如圖 38)。

TronGisPy

圖 37　興創知能開發之 TronGisPy。來源：興創知能。

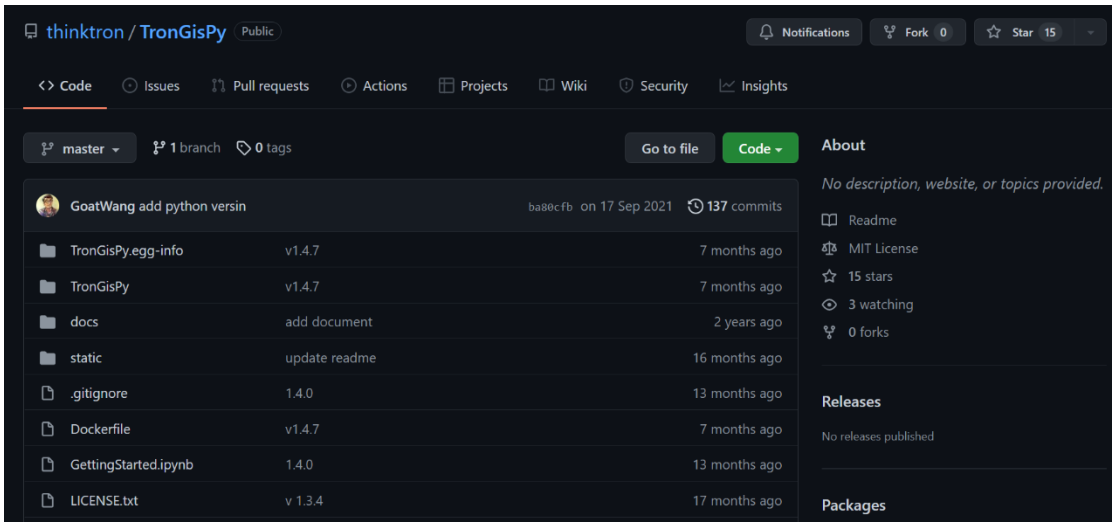


圖 38　TronGisPy 開源程式碼，MIT 授權。來源：興創知能。

影像辨識應用上不僅能用於遙測，也能用於道路安全，如交通部運輸研究所搭配無人飛行載具影像，偵測人、車等交通流量與軌跡(如圖 39)，並透過軟體分析路口衝突熱點(如圖 40)，以防範事故於未然。

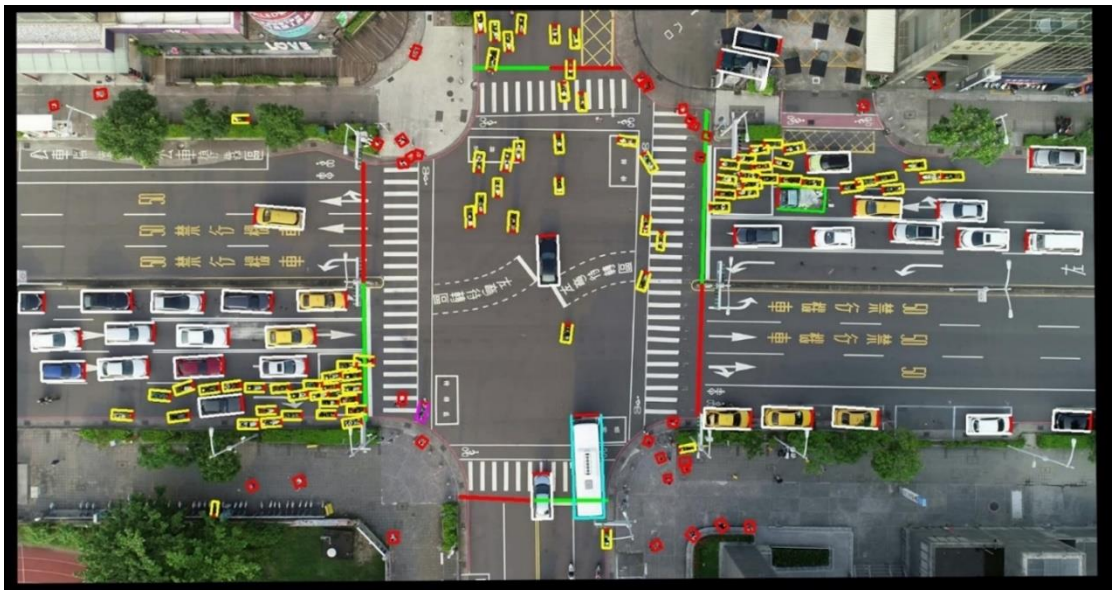


圖 39　應用無人飛行載具影像辨識人、車。來源：交通部運輸研究所。

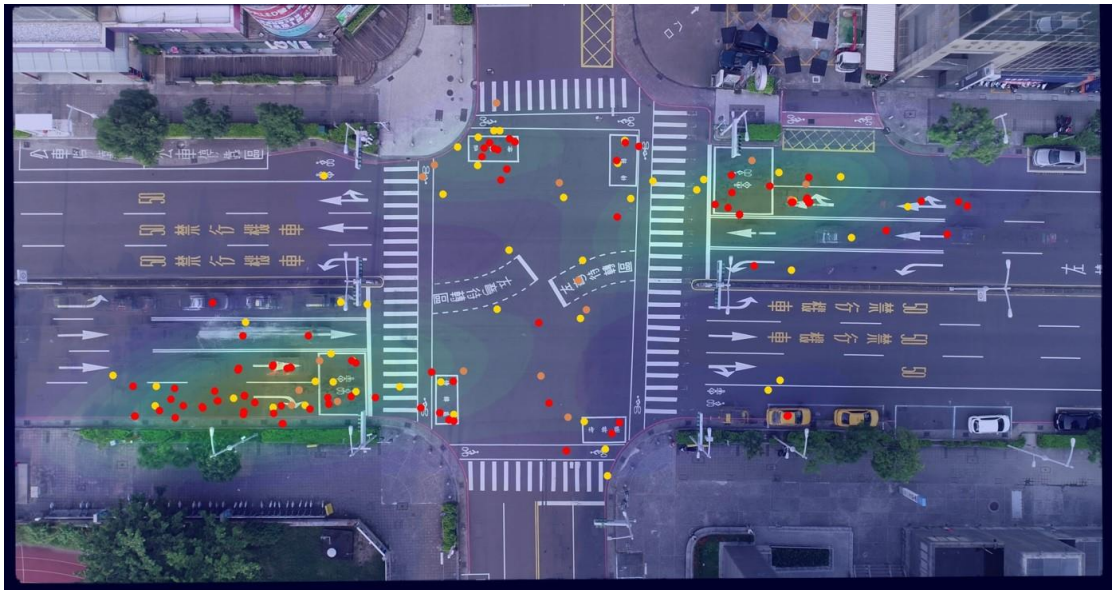


圖 40　分析人、車流移動軌跡與衝突熱點。來源：交通部運輸研究所。

電腦視覺的研究趨勢

在生活與商用領域，影像辨識技術越趨成熟，而在 2D 影像之外，演算法的發展、3D 測量技術如光達掃描的結合，又有哪些應用的可能？讓我們從電腦視覺領域的大型研討會中，發掘目前的研究趨勢與技術前沿。

目前電腦視覺 Computer vision 研討會中，論文收錄方向包括了影像感知、顏色、光線與紋理處理，分割與聚合，運動與跟蹤，立體視覺與運動結構重構，圖像建模，物理建模，統計，物件或場景識別等。其中較為大型的三個會議分別為 CVPR(Conference on Computer Vision and Pattern Recognition，如圖 41)、ICCV(International Conference on Computer Vision，如圖 42)和 ECCV(European Conference on Computer Vision)。



圖 41CVPR 研討會 110 年論文集視覺化。來源：cvpr2021.thecvf.com

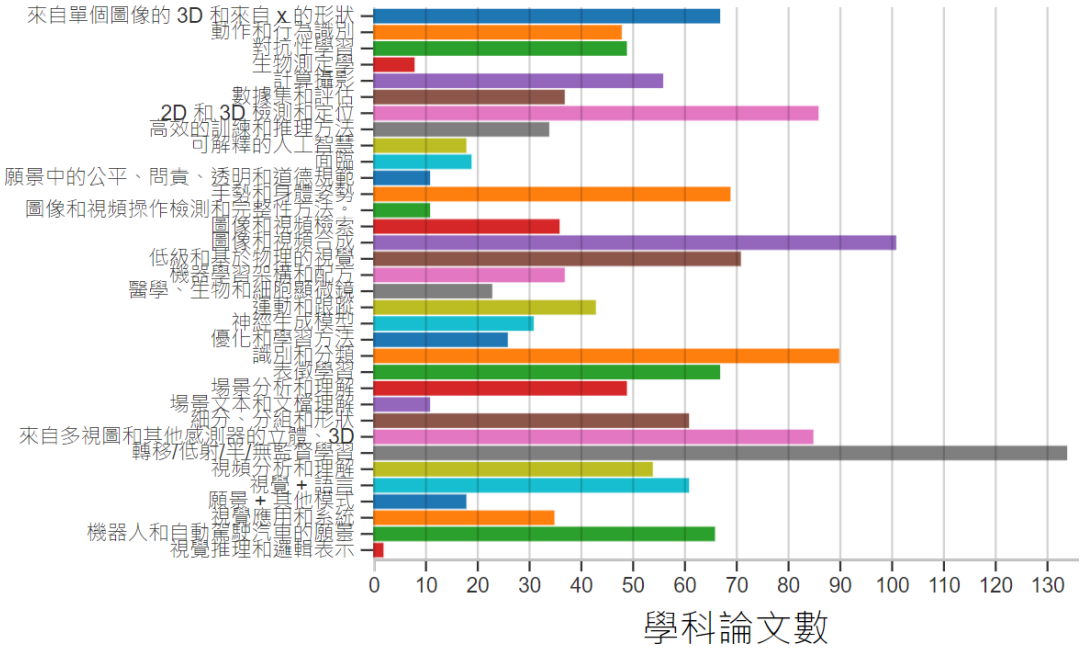


圖 42　ICCV 研討會 2021 論文統計。來源：iccv2021.thecvf.com

研討會中涵蓋了電腦視覺的各種應用可能，其中 2021 的 CVPR 中，微軟亞洲研究院被收錄的論文之一，展示了 3D 物件偵測與深度圖、2D 物件的混合辨識可能性。論文中提出了新的點雲產生器（SpareNet，如圖 43），其微分特性與深度圖的應用(如圖 44)，在 3D 物件偵測與重建上，得到了不錯的結果(如圖 45)。

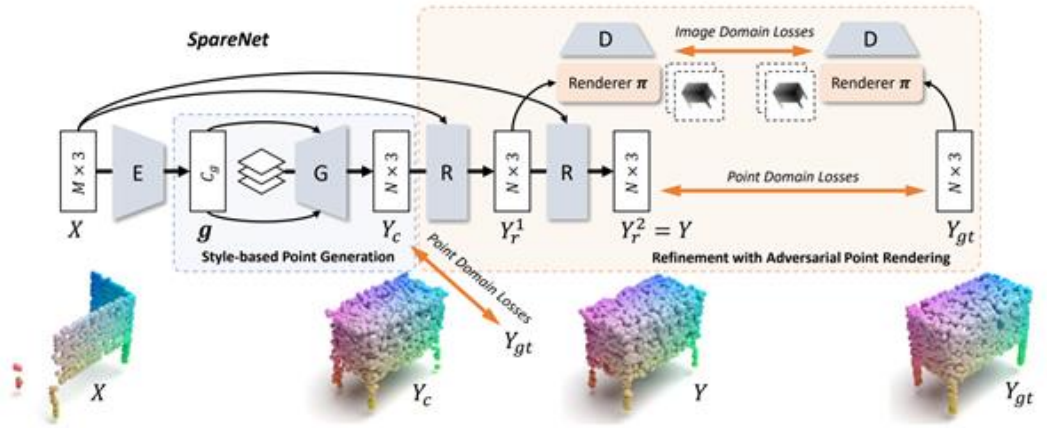


圖 43　點雲產生器（SpareNet）。來源：https://arxiv.org/abs/2103.02535

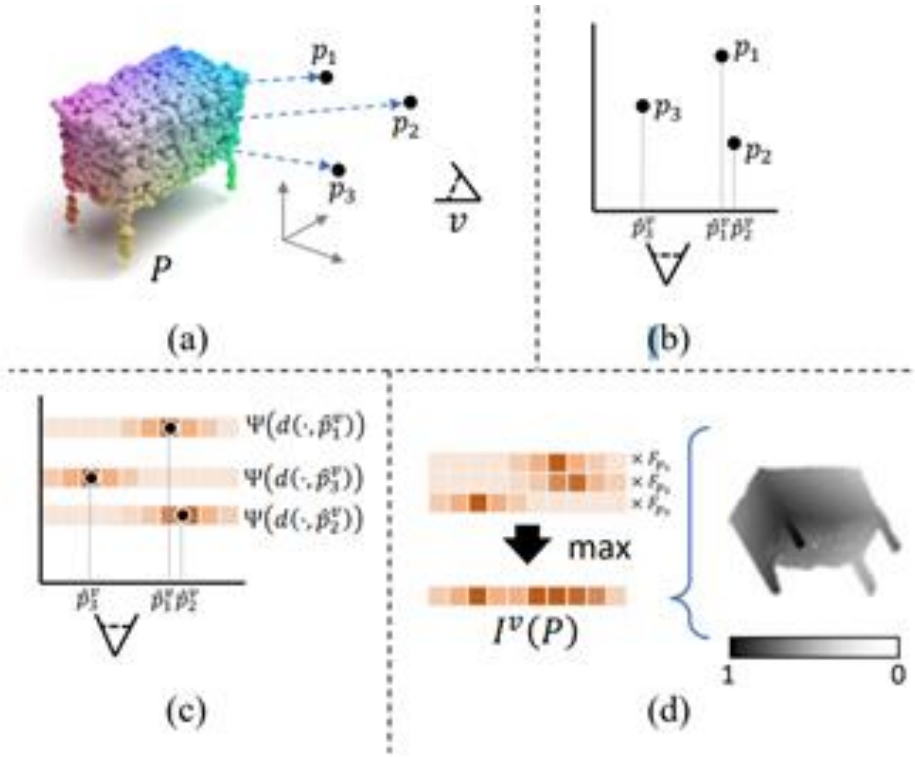


圖 44　點雲模型進行微分後，產生 2D 模型深度圖。來源：

https://arxiv.org/abs/2103.02535

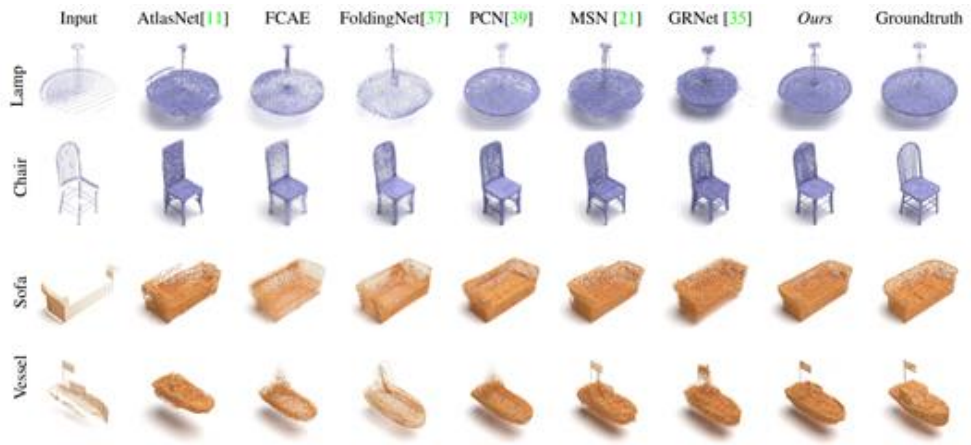


圖 45　SpareNet 與其他重建方法之結果比較。來源：

https://arxiv.org/abs/2103.02535

在可見的未來，影像辨識將不止於平面的光學影像，深度感測技術的進步，以及 3D 物件辨識的研究發展，相信在硬體成本逐漸克服後，3D 影像辨識將帶來更多應用的可能性。

➢ (九)因戰爭而生的天氣預報－在 GEE 上客製自己的天氣圖

隨著氣象觀測的技術進步以及網路與行動裝置的便利性，現代人的生活已經與天氣預報密不可分。人人只要將手機打開就能看到未來幾小時甚至是幾天後的天氣圖等重要的氣象資訊 (圖 1)，同時這些資訊也成為政府因應風水災及土石流等天然災害的重要決策依據。有趣的是，天氣圖的由來竟然源自於前幾期所介紹的 1815 年 Tambora 火山噴發而導致氣候變遷事件，而天氣預報的誕生則與歷史上的戰役有關。本期電子報將介紹天氣圖及天氣預報誕生的故事，以及如何在 GEE 上打造自己的天氣預報平台。

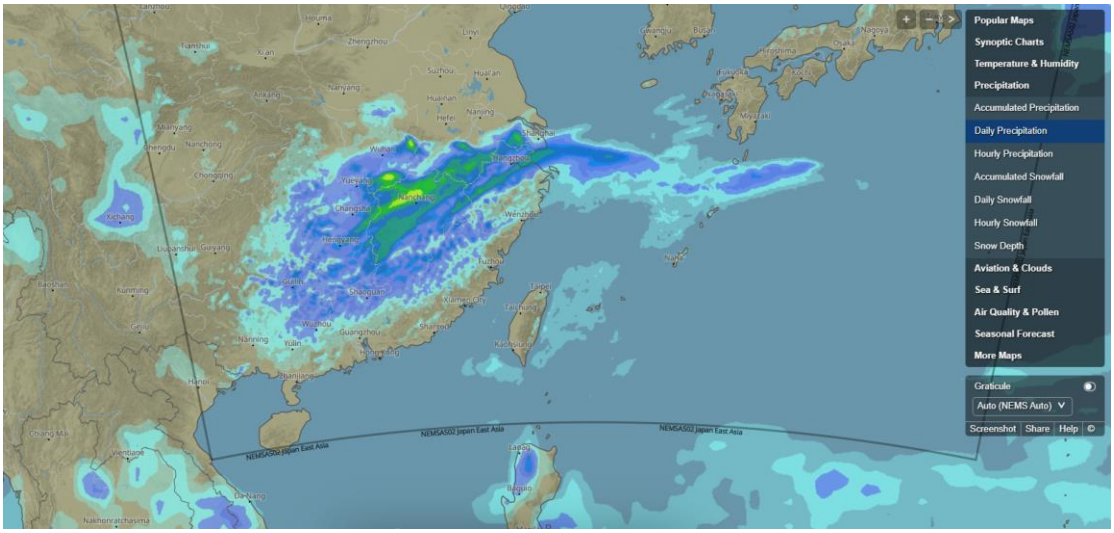


圖 1、111 年 04 月 22 日之天氣視覺化示意圖 (Meteoblue)

天氣圖的誕生

1816 年被稱為「無夏之年」，推測是受到坦博拉 (Tambora) 火山爆發所致。火山灰造成的巨大雲層蔓延全球，讓全年的氣溫下降，歐洲也經歷了幾年又冷又濕的冬天。Brandes (1819) 因 Tambora 火山造成的氣候變化而引發研究動機，利用德國氣象單位於 1781~1792 年間約 40 個測站的紀錄，畫出 1783 年 3 月的天氣狀況，來觀察 1783 年發生於冰島的火山爆發對氣候的影響，因此誕生了歷史上第一幅天氣圖 (圖 2)。

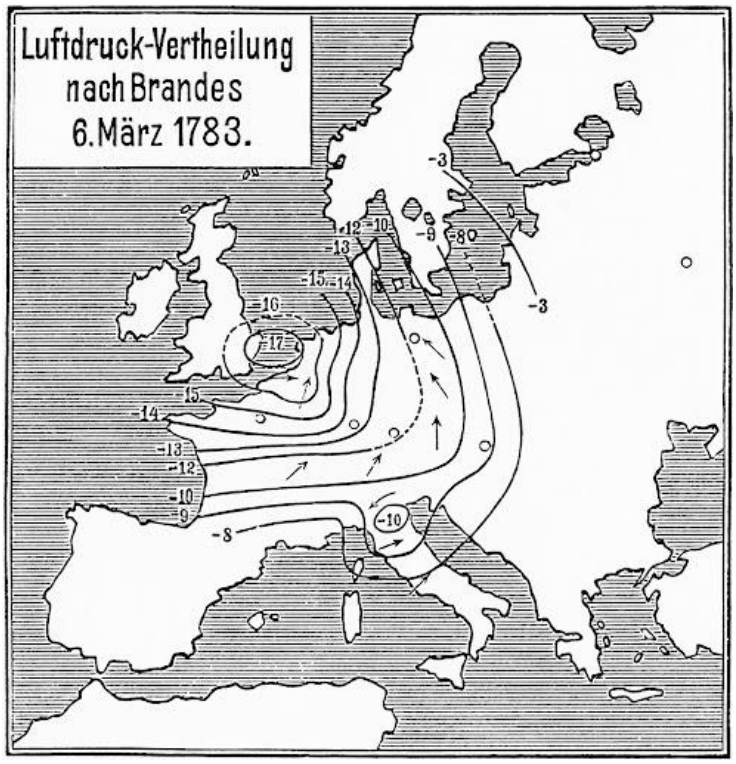


圖 2、1783 年 03 月 06 日當日天氣圖 (Brandes, 1819)

因戰爭而生的天氣預報

最近俄烏戰爭持續不斷，究其源頭還是與俄羅斯百餘年來對領土擴張及尋找出海口的歷史情結所致。就連大家目前生活上習以為常的天氣預報，它的誕生其實也與這段歷史有關－讓我們把視角拉到 1853 年至 1856 年間的克里米亞戰爭 (Крымская война)。

1854 年 11 月 14 日的黑海之戰，英法聯軍與俄國軍隊在黑海展開激戰。已包圍克里米亞 (Crimea) 並準備進攻的英法聯軍艦隊，突然遭受一場風力 12 級的風暴襲擊，讓原本情勢非常有利的英法聯軍艦隊，嚴重損失約 30 艘艦船。風暴過後，法軍作戰部要求巴黎天文臺對這次風暴進行調查，臺長勒維耶 (Urbain Jean Joseph Le Verrier) 收集並分析來自各地區於 11 月 12~16 日間的天氣情報後發現 (圖 3)，這個風暴係由大西洋逐漸向東移動，從西班牙、英國到法國先後受到影響。勒維耶認為這個黑海風暴看似來的突然，其實是有軌跡可循，並提出若在歐洲大西洋沿岸設置氣象觀測站網，即可提前預測出風暴的未來走向。

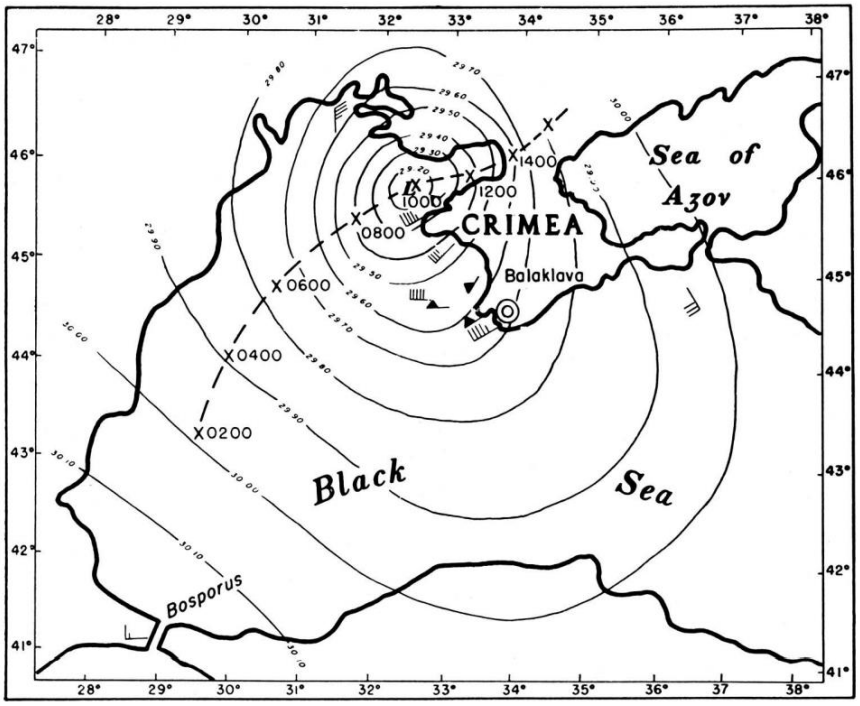


圖 3、1854 年 11 月 14 日黑海之戰的天氣圖 (Landsberg, 1954)

法國科學院於 1855 年 3 月接受組織氣象站網的建議，於 1856 年即建立了世界上第一個氣象站網，並爲第一個提供天氣預報的國家。天氣預報問世後，被法國人民廣泛應用於農業生產和日常生活中，於是世界各國紛紛跟進。到了 19 世紀末，全世界有 21 個國家成立了專門的氣象部門，就連保守的清朝也在 1906 年建立了氣象機構。

天氣預測的成功應用－諾曼第登陸

諾曼第登陸是迄今為止人類近代歷史上規模最大的一次海上登陸作戰(圖 4)。這場戰役發生於 1944 年 6 月 6 日，然而，行動日 (D-Day) 的訂定其實也與天氣預測密不可分！

在 1943 年 11 月的德黑蘭會議上，海軍上將 Kirk 及 Stagg 上校表示 1944 年 6 月 4 日到 7 日為最佳登陸時機，若要下次再出現此條件需要等待 150 年，因此盟軍暫定 6 月 5 日為 D-Day。然而，盟軍 5 月 17 日的天氣預測卻指出，6 月 5 日的天氣將非常惡劣，但此惡劣天氣將在 6 月 6 日暫緩 (圖 5)，因此盟軍最高總司令 Eisenhower 果斷下令將 D-Day 延後一天。德軍方面，也因 6 月 5 日的惡劣天氣，認為盟軍不會在惡劣天氣下進攻，但隔日突如其來的登陸作戰使德軍措手不及，也因此成功開啟了第二戰場，進而反轉了整個二戰。



圖 4、Aerial Views Of D-Day Normandy Landmarks (BRIAN LIU)。

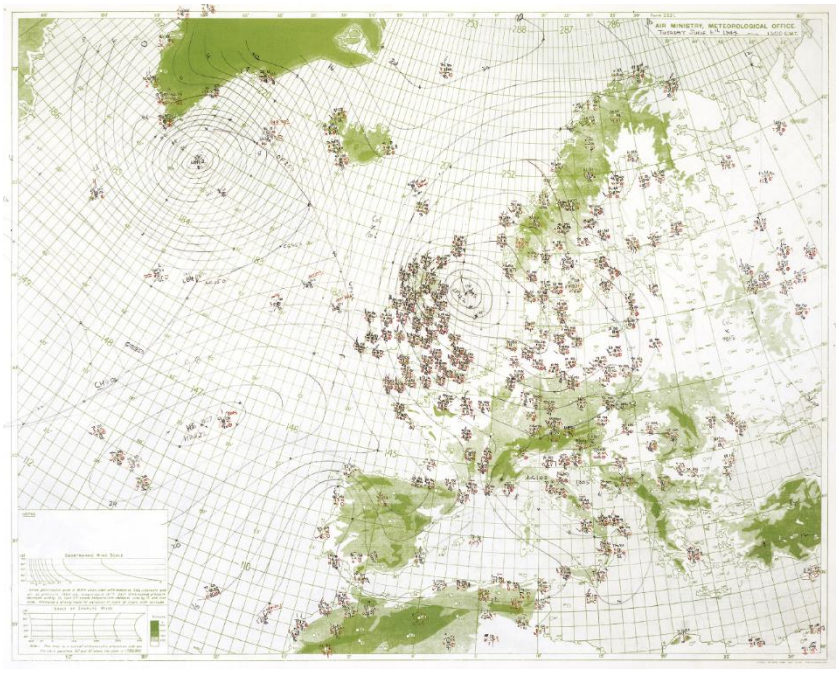


圖 5、1944 年 06 月 06 日天氣預報圖 (Met Office)。

當然，天氣預報偶爾也會出現失誤。事實上，若盟軍於下一個預測適合登陸且晴朗的日期 (1944 年 6 月 18 日) 進攻，將遭遇歐陸 40 年來最嚴重的風暴，盟軍也將因天氣影響而損失大量軍力。事後 Eisenhower 對 Stagg 說 "I thank the gods of war we went when we did"。

數值天氣預報的產生

西元前 300 年左右，中國就有了以諺語為主的天氣預報，不過並沒有發展成現代天氣預報系統。直到 19 世紀末，世界各國對天氣變化背後的機制仍只有基於經驗的瞭解，完全是主觀的推測。

Richardson et al. (1922) 首次使用數值模型預測天氣，利用六週時間以預測當時未來 6 小時的天氣狀況，但預測結果誤差極大 (圖 6)。而 Jule Charney 的團隊於西元 1950 年使用電子數值積分計算機 (Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC) 完成了第一個成功的數值預測。不過，由於計算機的效能有限，當時要計算 24 小時後天氣預報，仍需花費近 24 小時的時間。

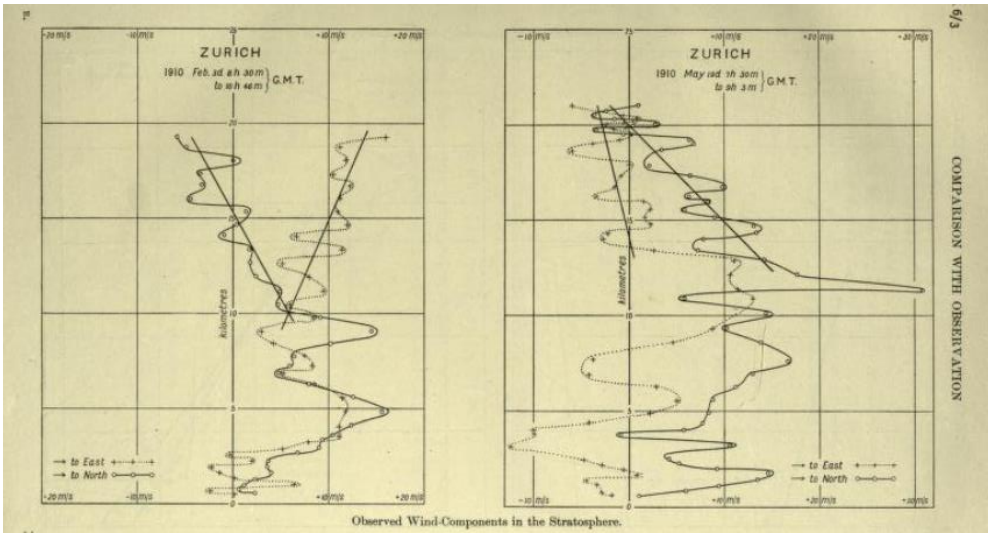
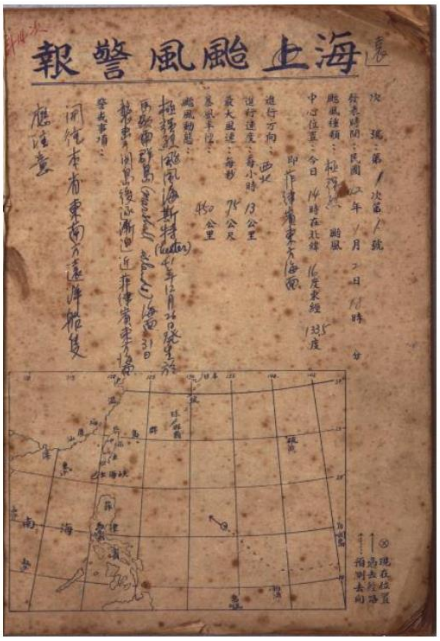


圖 6、預測蘇黎世上空的風組成 (Richardson et al., 1922)。

臺灣最早的颱風警報

臺灣的氣象觀測歷史為日治時期 (1896 年) 所建立，而臺灣現存最早颱風警報單紙本 (圖 7) 為 1953 年 (民國 42 年) 1 月的海斯特颱風，警報單中有次號、發表時間、中心位置、進行速度、暴風半徑及路徑圖等項目，並標記了颱風過去路徑、現在位置以及預測去向等。由警報單顯示，此次颱風路徑將大迴轉遠離臺

灣，故該次颱風在第 2 號警報時即解除颱風警報。



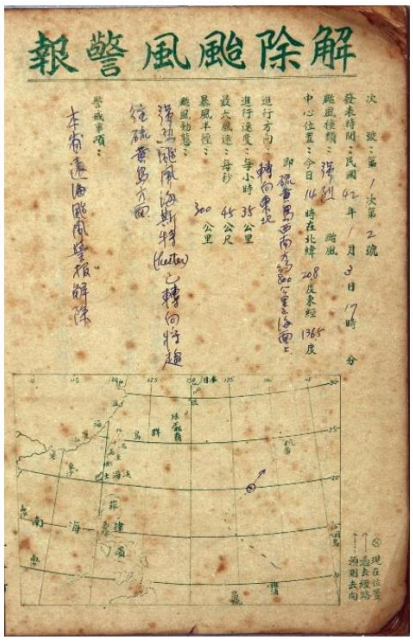


圖 7、臺灣 1953 年颱風警報單 (中央氣象局資料庫)。

用 GEE 打造自己的天氣預報系統

具有強大雲端運算能量且內建各式雲端資料的 GEE 平台，當然也不會錯過生活中常用的天氣預報。Istanto (2022) 利用 GEE 匯入 NOAA 的全球預報系統 (Global Forecast System, GFS) 的資料 (GEE code)，輕鬆獲取目標區域未來幾個小時或幾天後的天氣資訊。而匯入之 GFS 是由美國國家環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 製作的天氣預報模型，提供未來 384 小時 (16 天) 內的天氣預報，已被廣泛地應用於短期未來氣象的模擬。此資料及程式碼皆屬於公開資料，任何人能自行調整所想要的範圍或色階等，客製化屬於自己的天氣預報系統 (圖 8)。

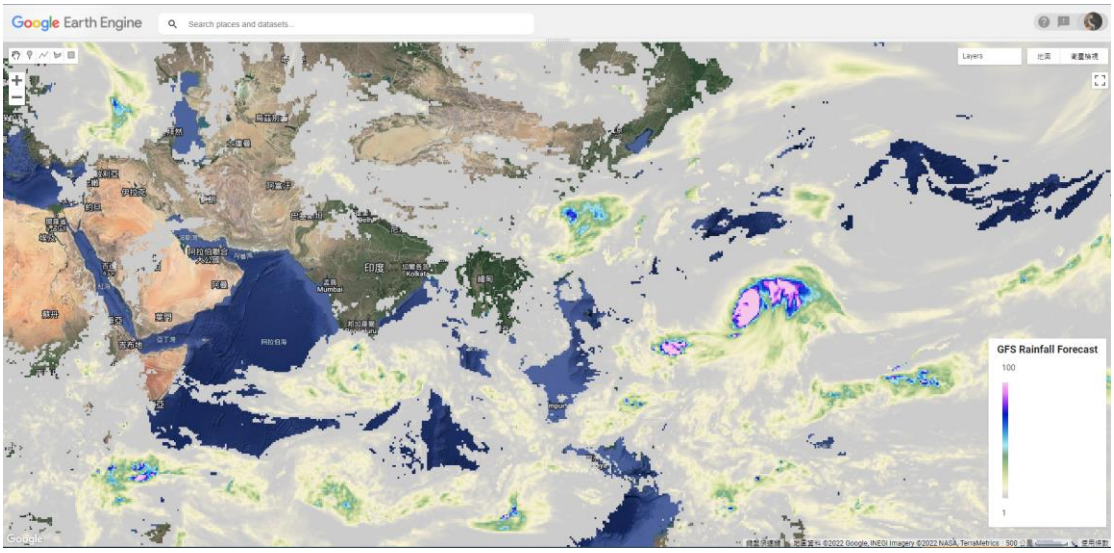


圖 8、在 GEE 平台上打造自己的天氣預報圖 (Istanto, 2022)。

相關網站

1. Weather Maps-Meteoblue
2. 利用數值模型預測天氣 (Richardson et al., 1922)
3. 天氣預報的誕生-BBC
4. US Daily Weather Maps-NOAA
5. 百年風雨-1911 颱風記憶 (YouTube)-臺灣南區氣象中心
6. 日治時期臺灣的颱風災害與防救災措施-臺灣文獻
7. 颱風警報信號與傳遞之百年演進-中央氣象局
8. Visualize daily weather forecast from GFS using Google Earth Engine

參考資料:

1. Barnes, S. L. (1964). A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 3(4), 396-409.

2. Bjerknes, V. (1906). Fields of force: supplementary lectures, applications to meteorology; a course of lectures in mathematical physics delivered December 1 to 23, 1905 (No. 1). Columbia University Press.

3. Brandes, H. W. (1819). Einige Resultate aus der Witterungs-Geschichte des Jahres 1783, und Bitte um Nachrichten aus jener Zeit; aus einem Schreiben des Professor Brandes an Gilbert. Annalen der Physik. 61. 421-426.

4. Landsberg, H. E. (1954). Geophysics and Warfare. Research and Development Coordinating Committee on General Sciences, Office of the Assistant Secretary of Defense (Research and Development).

5. Lindgrén, S., & Neumann, J. (1980). Great historical events that were significantly affected by the weather: 5, Some meteorological events of the Crimean War and their consequences. Bulletin of the American Meteorological Society, 61(12), 1570-1583.

Richardson, L. F. (2007). Weather prediction by numerical process. Cambridge university press.

➢ (十)用數位孿生重現歷史－從時空夾縫趨吉避凶

面對氣候變遷導致極端降雨事件之規模與頻率不斷升高的威脅，對民眾而言，若能善用科技服務，將有助於災害預防、趨吉避凶。相較於未來災害的不確定性，如能掌握歷史紀錄跟即時資料，並透過整合時間與空間視覺化的呈現方式，便是民眾自主防災的最大利器，比如災害防救科技中心(簡稱 NCDR)的 3D 災害潛勢地圖(如圖 46)，或是中央氣象局的即時降雨資料(如圖 47)。本期電子報將介紹目前國內防災領域已應用地理資訊系統，整合 IOT 感測、歷史圖資、資訊傳輸等應用的成果與服務。

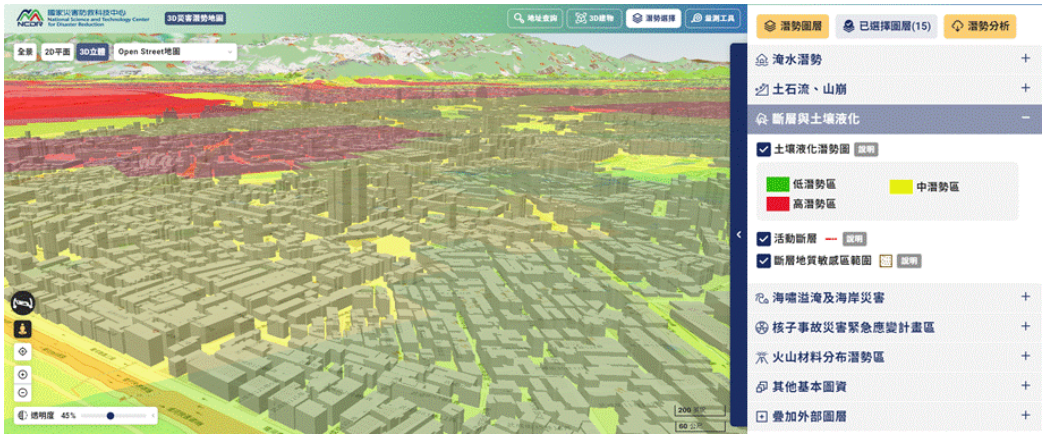


圖 46　3D 災害潛勢地圖(來源：NCDR)

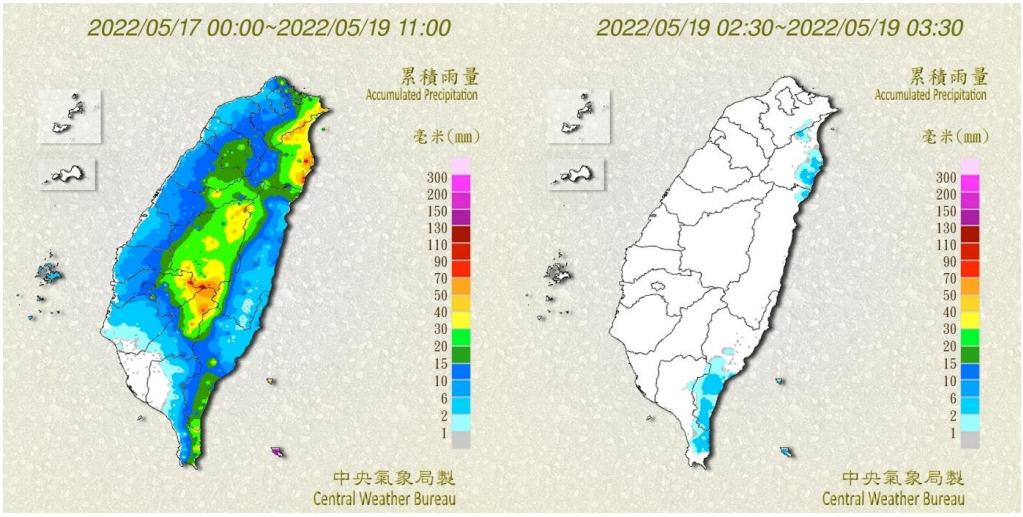


圖 47　累積雨量圖。來源：中央氣象局

跨領域的複合災害潛勢圖台

在談論資料與應用之前，讓我們先紹一下美國電腦科學家 David Gelernter 於 1991 年出版的「鏡像世界」《Mirror Worlds: or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox...How It Will Happen and What It Will Mean》(如圖 48)。這本書提到數位鏡像能反映的真實情況，以及可能的互動型態，此即為目前許多研究常提及的數位孿生(Digital Twins)之早期概念。之後，2002 年 Society of Manufacturing Engineers(國際製造工程學會，簡稱 SME)於美國特洛伊城會議中提出相關模型， 2010 年 NASA 將之用於太空領域的物理模型模擬，並隨著佛羅里達理工學院的 Michael Grieves 應用於產品生命週期管理(Product Lifecycle

Management, PLM)而廣為人知。

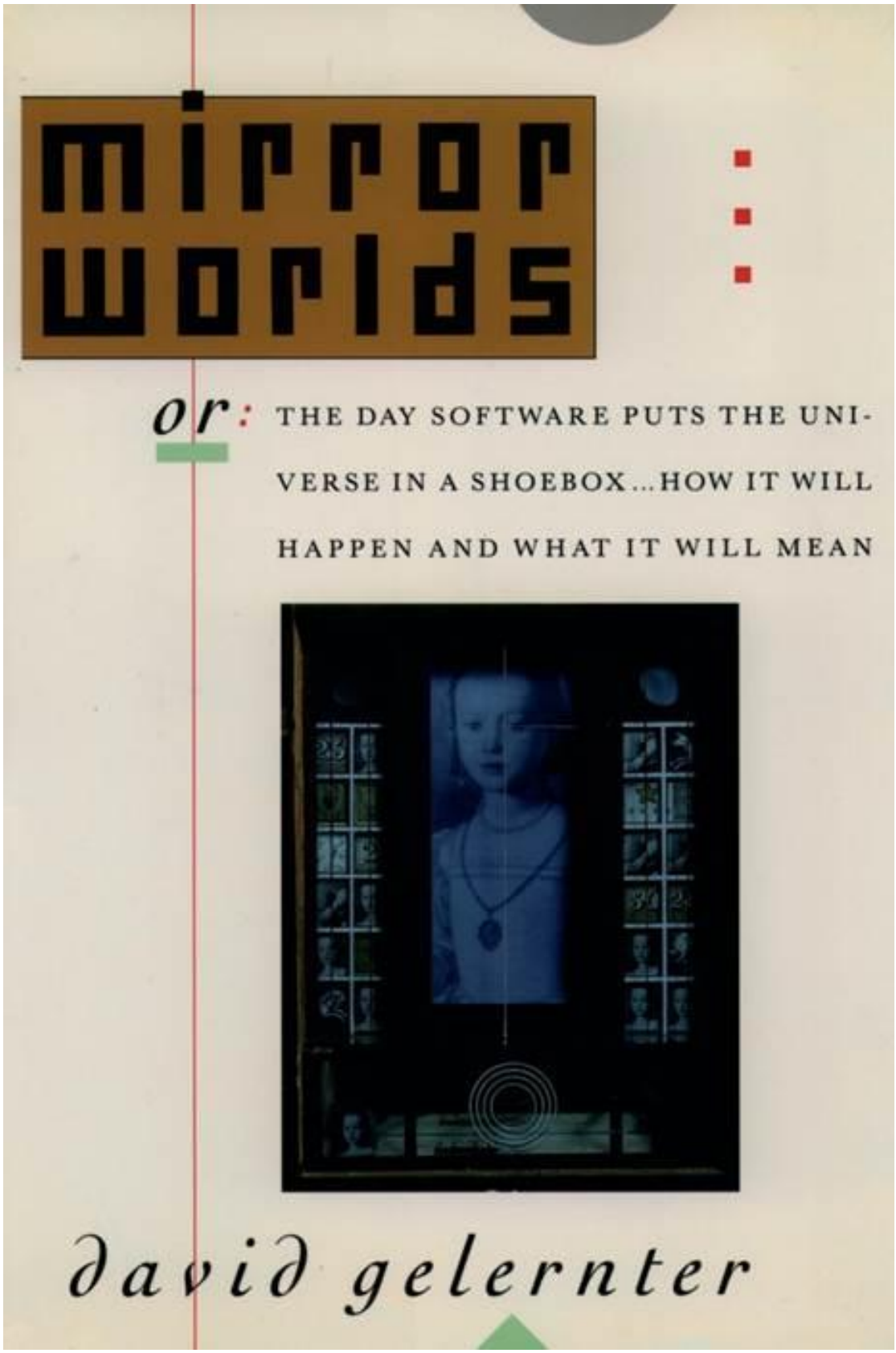


圖 48　1991 年，鏡像世界《mirror worlds》(來源：Oxford Scholarship)

目前在防災上，數位孿生的概念已藉由結合地理資訊的空間資料，以及歷史圖資與紀錄的時間資料，藉由軟體技術及視覺化呈現，提供民眾查詢服務以及防災評估。以今年 NCDR 更新之 3D 災害潛勢地圖為例，能夠同時呈現不同災害潛勢與建物套疊，不僅有 2D 呈現方式(如圖 49)，也能使用 3D 介面模擬山區與建物分布(如圖 50)。

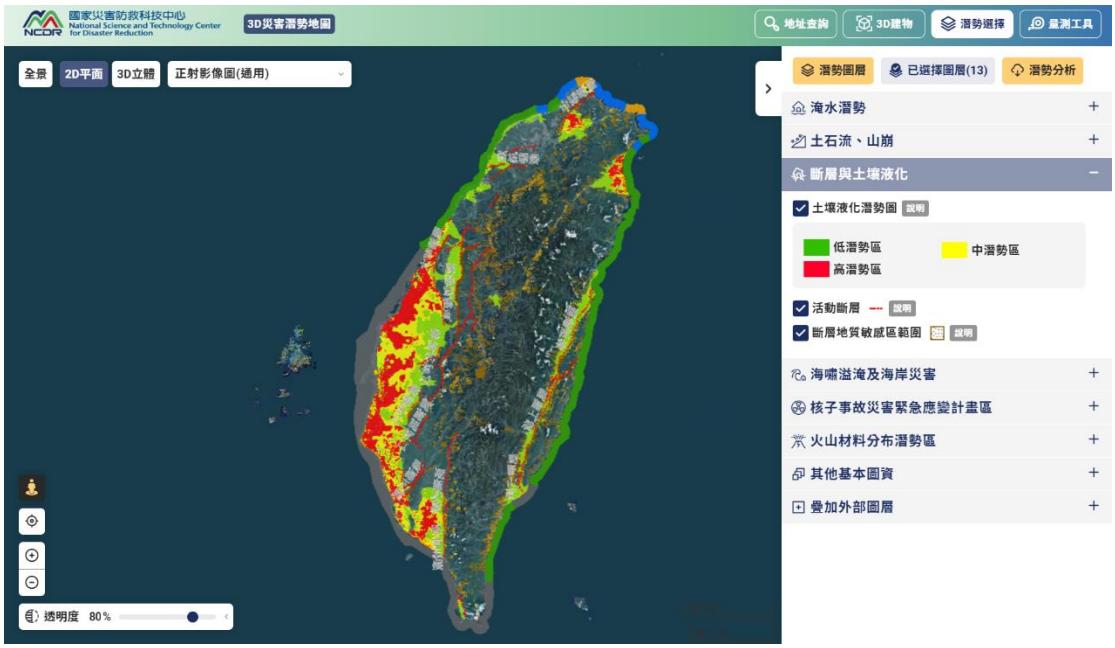


圖 49　2D 災害潛勢套疊(來源：NCDR)



圖 50　3D 災害潛勢套疊(來源：NCDR)

對於某個關注區域來說，若想進一步了解多時期歷史航遙測影像，則可應用水土保持局的 BigGIS 圖台。目前開放的圖資搜尋服務，可快速搜尋全臺各地之衛星影像、航空照片、UAV 空拍及歷史災害照片等(如圖 51)，也可套疊土石流、大規模崩塌、淹水、土壤液化等地質災害等相關防災圖資 (如圖 52)。



圖 51　BigGIS 搜尋多時期衛星圖資與事件影像(來源：BigGIS)

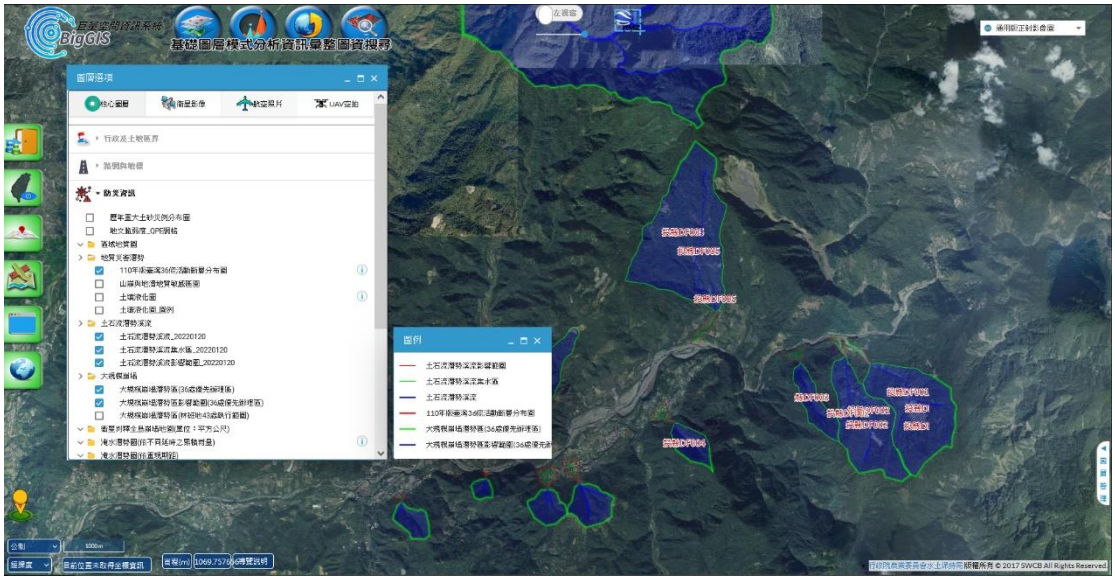


圖 52　BigGIS 套疊土石流及大規模崩塌防災圖資(來源：BigGIS)

此外，災害防救法之各類災害主管機關，也建置了許多不同類型的災害潛勢

資料；比如旱季來臨時，想掌握容易發生森林火災的地區，可參考林務局建置之林火災害潛勢庫，而在雨季、汛期或強降雨情境下的淹水潛勢，可參考水利署之整合圖台(如圖 53)。

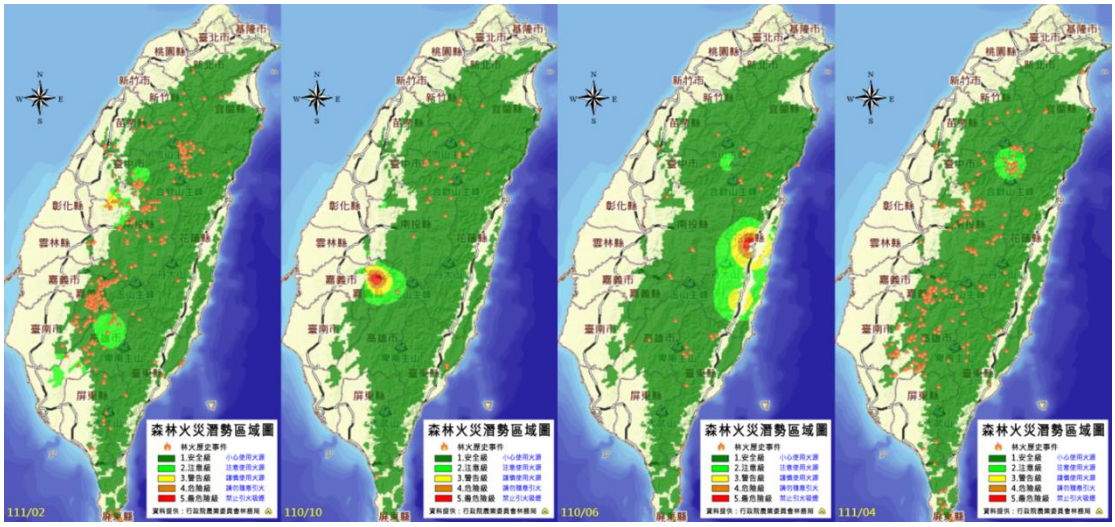


圖 53　水利地理資訊服務平台與淹水潛勢圖資(來源：水利署)

防災即時資訊的呈現與預警

除了應用歷史資料與圖台的視覺化，於災害預防階段即掌握災害潛勢外，臺灣已建置完成的開放資料體系、物聯網與通知服務等基礎建設，配合目前網路通訊、行動裝置的普及，大幅提升了民眾對防災即時資訊的掌握程度。如 NCDR 彙整的災害防救資料服務平台(如圖 54)，彙整即時示警資料與提供介接的民生示警公開資料平台(如圖 55)，提供土石流防災相關訓練、知識與即時警戒發布之土石流防災資訊網(如圖 56)。



圖 54　災害防救資料服務平台(來源：NCDR)



圖 55　民生示警公開資料平台(來源：NCDR)



圖 56　土石流防災資訊網(來源：水保局)

此外，許多民生基礎建設也建立了即時資訊服務，比如方便用路人掌握路況的高速公路 1968 服務(如圖 57)，已有民間工程師將之與警政署的介接服務重新整合為視覺化的即時路況服務(如圖 58)，以及為因應 COVID19 疫情，應用健保署開放資料製作的快篩數量地圖等(如圖 59)。

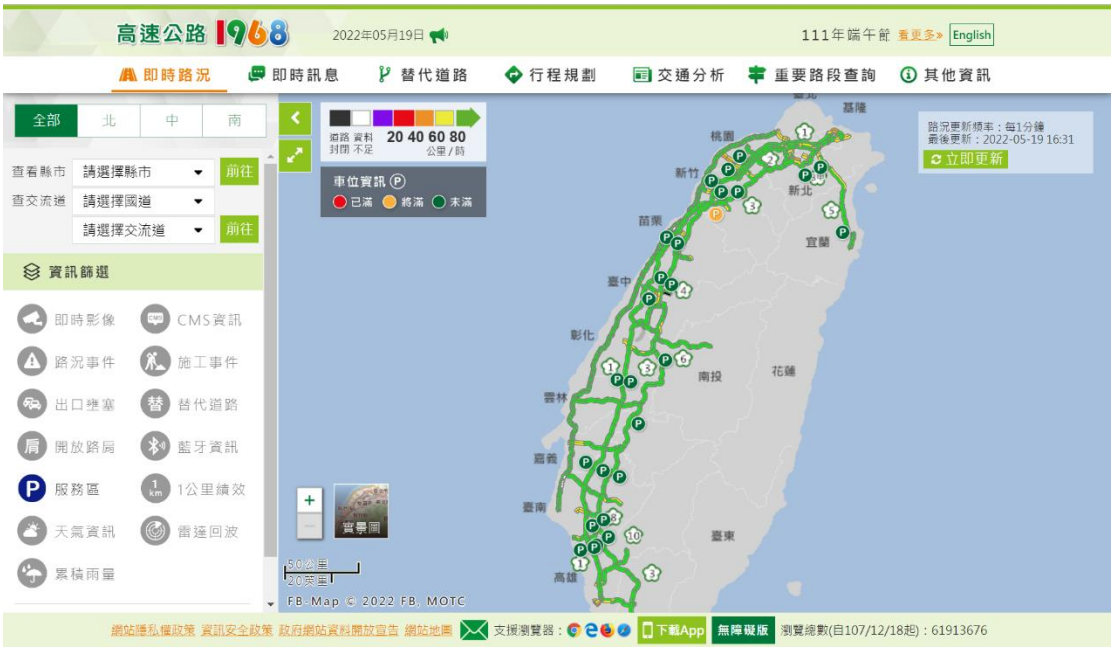


圖 57　高速公路即時路況整合服務(來源：高公局)

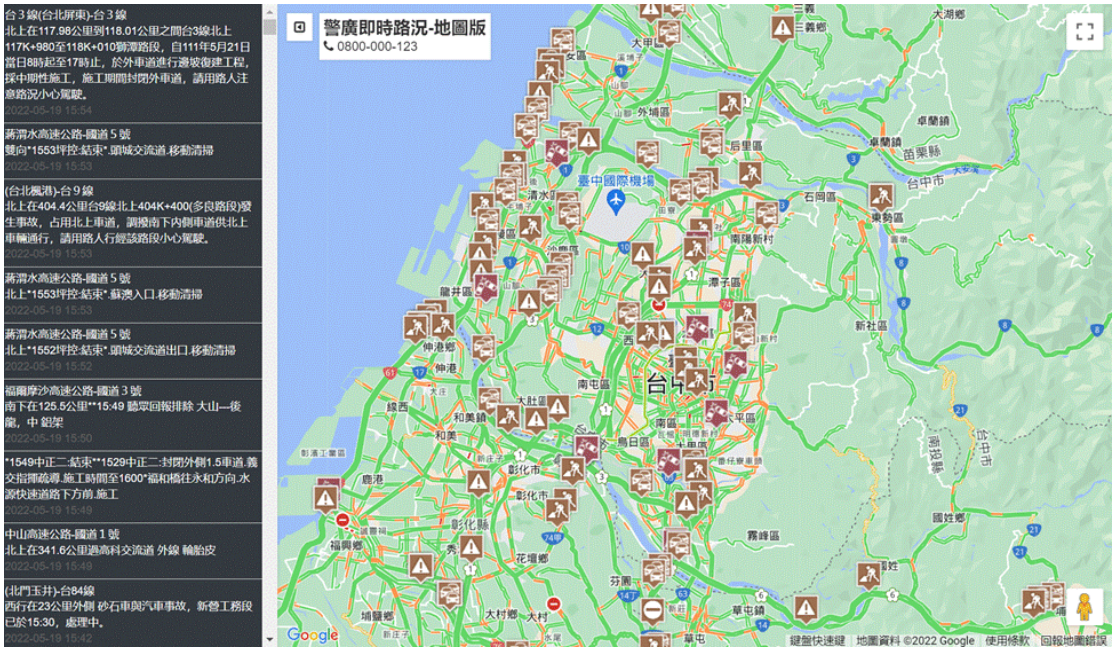


圖 58　即時路況介接應用(來源：https://road.ioi.tw/)

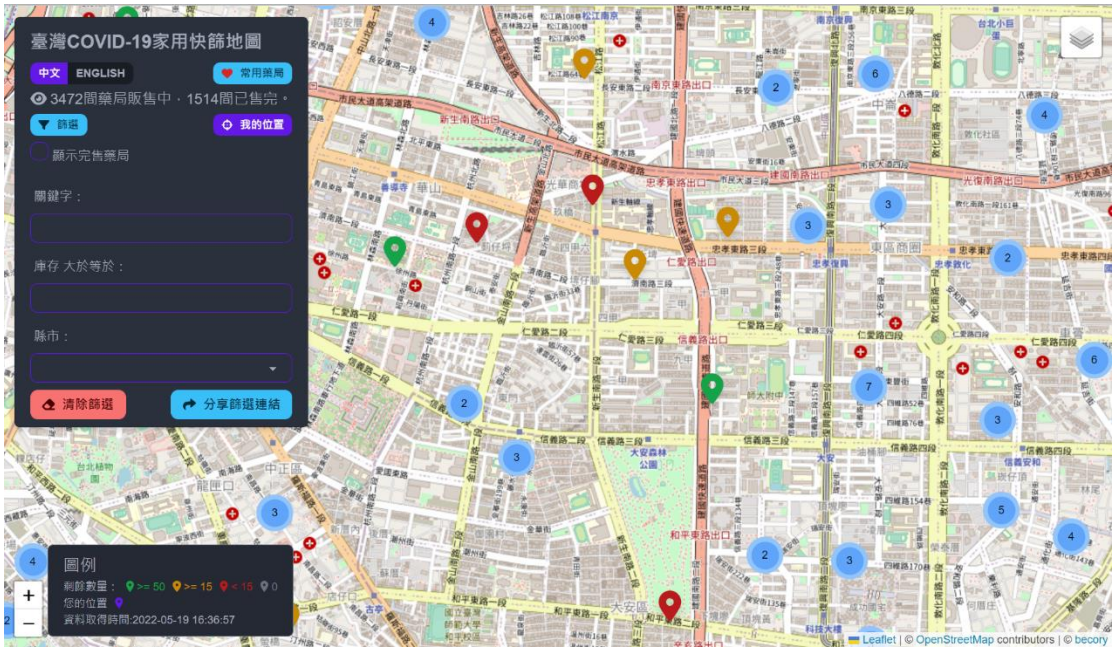


圖 59　民間版快篩地圖(來源：https://becory.github.io/covid-19-test-kit-tw/)

除了電腦端的應用，藉由 4G、5G 網路，手機與穿戴裝置的普及，這些資訊服務所延伸的客製化預警，或者 APP 預報提醒，公眾 CCTV 的即時影像等，更可整合為個人化的防災資訊服務。例如，結合地震預報服務與氣象資料的 KNY 台灣天氣，除了可設定手機警示，對應不同規模的地震提醒，也能搭配穿戴裝置，做更精簡的訊息提示(如圖 60)；過去使用 Email 推送之民生示警資訊，目前也能

結合穿戴裝置(如圖 61)，有助於民眾即時掌握不同類型的示警資料。除了相關示警與 1968 等即時資料外，國內許多重要景點也有開放即時影像，目前亦有民間工程師藉由網頁技術與串流服務，彙整成資訊儀表板(如圖 62)，供民眾即時監看特定區域之狀況。



圖 60　手機 APP 推送示警結合穿戴裝置



圖 61　Email 推送示警結合穿戴裝置



圖 62　民間整合 CCTV 資料服務(來源：https://tw.live/)

科技應用與軟體防災已是成熟的技術，未來藉由基礎建設的擴充，以及商用市場的演進，資料將會越來越多，裝置成本也將逐漸下降。相較於過去，民眾有著更多元的管道，獲取不同災害的歷史經驗以及即時資訊，並能藉此作為防災決策的參考，防範於未然。

➢ (十一)土石流？高含砂水流？洪水？-如何快速評估集水區易致災類型

豪雨導致集水區土砂運移的過程，其型態可能因地形條件，分別或混合了土石流、高含砂水流及洪水。儘管許多研究以集水區面積、坡度、坡向、形狀係數、崩塌地地質特性、崩塌率等作為土石流發生之重要因子進行統計分析，惟上述地文參數對於如土石流、高含砂水流或洪水等降雨導致之山區土砂災害類型，往往較不具鑑別能力。藉由水土保持局近年來推動的創新研究計畫成果，流域險峻值(Melton Ratio, MR)被用來初步快速評估山區的土砂災害類型，已獲得不錯的成效。本期電子報將介紹 MR 值相關研究及應用，並提供讀者巨量空間資訊系統(BigGIS)及 Google earth engine (GEE)兩種線上的計算方式，透過簡單的操作及判釋，了解關注區域的易致災類型！

山區土砂災害形成的先天條件

南橫公路 (台 20 線) 上玉穗溪與荖濃溪交會處的明霸克露橋，於 110 年 8

月被沖毀的事件，想必大家仍記憶猶新 (圖 63)，該土砂災害事件是由於玉穗溪上游斯拉巴庫山上殘坡的土砂崩落並堆積於溪床，隨後被盧碧颱風帶來的大水夾帶土砂將橋梁沖毀。

事實上，台灣位處於地震破碎帶，地質環境複雜，加上地形上坡陡流急，提供河川中上游向源及橫向侵蝕的劇烈動能，導致常態性的發生溪岸崩塌。因此，台灣於先天條件下，就已具備孕育發生土石流所需之地形、地質條件及大量的崩塌堆積物。使得每逢暴雨即有洪水、高含砂水流與土石流等土砂災害的發生 (圖 64)。



圖 63　110 年玉穗溪土石流沖積扇 (傅志男-歷史影像平台)



圖 64　1996 年南投縣信義鄉神木村神木國小旁土石流 (謝金德-歷史影像平台)

流域險峻值 (Melton Ratio, MR)

Melton (1957) 針對土石流災害發生與地文因子間的關聯性進行探討，利用流域面積及擬定流域險峻值 (Melton Ratio, MR) (式 1) 作為災害類型的區分及預測，可簡單且量化該集水區之災害條件，並能快速區分容易發生洪水的區域及土砂災害的區域。

$$MR = \frac{H}{\sqrt{A}} \tag{1}$$

H(km)為集水區溢流點以上高程差

A(km^2)為溢流點以上集水區面積

後續的研究中，Pierson and Costa (1987) 提出在救災整備業務上，除區分洪水及土砂災害外，應進一步依土砂運動時之含砂量 (Sediment Concentration)，分為洪水 (flood)、高含砂水流 (debris flood)、土石流 (debris flow) 及崩塌。Wilford et. al. (2004) 及 Millard et al. (2006) 研究中顯示結合 MR 值與河川流域長度二者作為判釋條件，可額外新增顯著區分 debris flow 或 debris flood 的能力。

Zhou (2016) 依據前人研究的 MR 門檻值與河川長度繪製散佈圖，顯示 MR 應為土石流之必要條件而非充分條件，建議致災類型分類不能僅以 MR 門檻值 (ex. MR > 0.3 =土石流) 作為判釋標準，應再額外參考河川長度或其他集水區因子 (圖 65)。

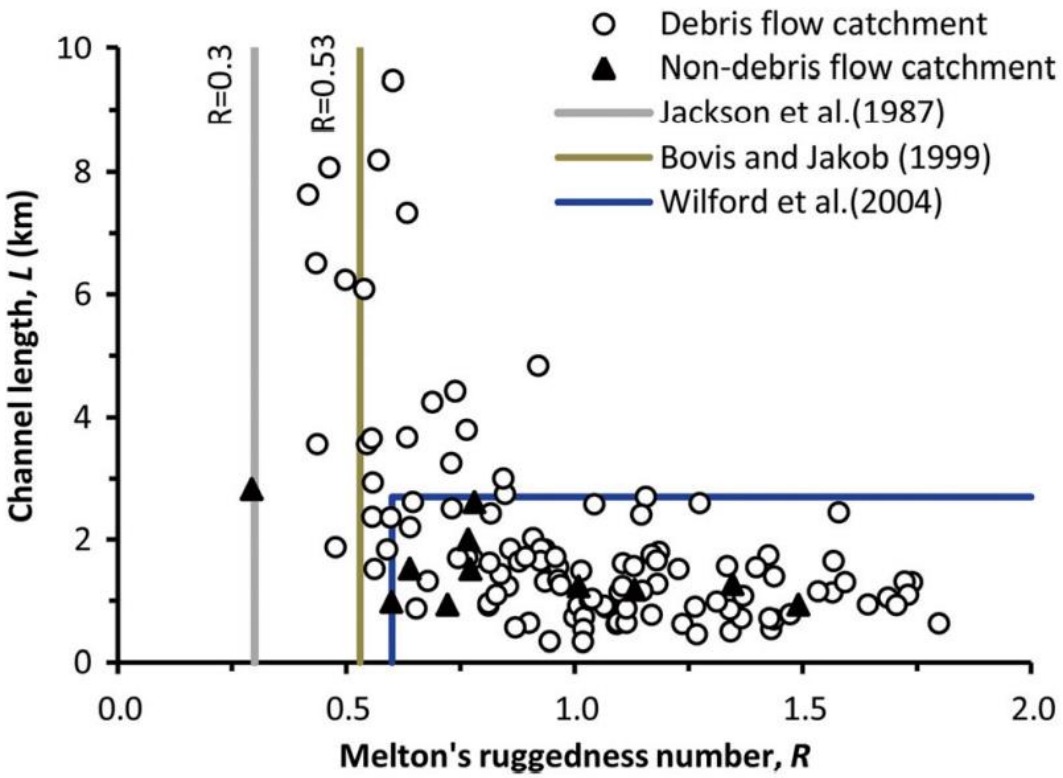


圖 65　集水區險峻值與集水區長度關係圖 (Zhou et al., 2016)

因此，周憲德等人 (2020) 於水土保持局創新研究計畫中透過整理臺灣的土石流集水區 MR 值及集水區長度 (L)，建立台灣適用之險峻值對照表作為致災類型之判釋指標，如表 1 所示。

表 1 台灣適用險峻值對照表 (周憲德，2020)

致災類型	MR	流域長度(L)
洪水	MR <0.3	-
高含砂水流+土石流	0.3 ≦ MR ≦ 0.43	L ≦ 14 km
	0.43 < MR	7 km ≦ L ≦ 14 km
土石流	0.43 < MR	L < 7 km

BigGIS-集水區潛在災害類型評估工具

近年來，學者陸續提出結合 MR 值與應用地理資訊系統的方法，建立識別土砂災害的相關系統 (Welsh and Davies, 2011)。相較於需大量人力與物力投入的災害判釋報告，藉由 MR 門檻值設立後，我們即可透過簡單的計算快速評估所關注集水區的致災類型與相關地質或地形條件。

巨量空間資訊系統 (BigGIS)已於 111 年 1 月時上線了集水區潛在災害類型評估工具，輔助使用者可以針對關注之集水區流域評估潛在致災類型。進入巨量空間資訊系統，開啟地圖輔助工具/加值應用與分析工具/集水區前在災害類型評估工具 (圖 66)。



圖 66 集水區潛在災害類型評估工具 (BigGIS)

點選設定參數後，系統會自動顯示每個步驟說明，並切換底圖供使用者能易於辨讀及操作，以依序完成各項步驟的參數設定 (溢流點位置、關注集水區範圍及最高點設定) (圖 67)。



圖 67 設定關注集水區參數範例 (BigGIS)

完成參數設定後，可自行輸入流域長度或是點選地圖繪製，繪製河流於地圖上。並透過以上設定，系統將自動顯示使用者關注之集水區容易出現的致災類型 (圖 68)。



圖 68　繪製河川長度及判釋結果示意圖 (BigGIS)

應用 GEE 計算 839 子集水區之 Melton Ratio

受益於 GEE 平台雲端上豐富的共享資料，本期電子報亦介紹如何利用 GEE 平台，計算全臺 839 子集水區之 MR 值及快速判釋土砂災害類型，最後以 GEE APP 呈現 (圖 69)。

其中引用 NASA / USGS / JPL-Caltech 提供解析度 30 m 之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) (NASADEM: NASA NASADEM Digital Elevation 30m)，及 WWF 提供之地表河川水覆蓋資料 (WWF/HydroSHEDS/v1/FreeFlowingRivers)。整併資訊後，即可得到各子集水區的地形及地理資訊。最後，透過 GEE 的雲端計算功能，自動算出該子集水區的 MR 值，並判釋該區易發生之潛在致災類型資訊 (圖 70)。註：此方法僅提供快速判釋，惟受限於子集水區的切割條件，集水區範圍及河川界點位置與實際情況仍有誤差，若有對關注集水區詳細判釋之需求，應視實際條件另行計算及判釋。

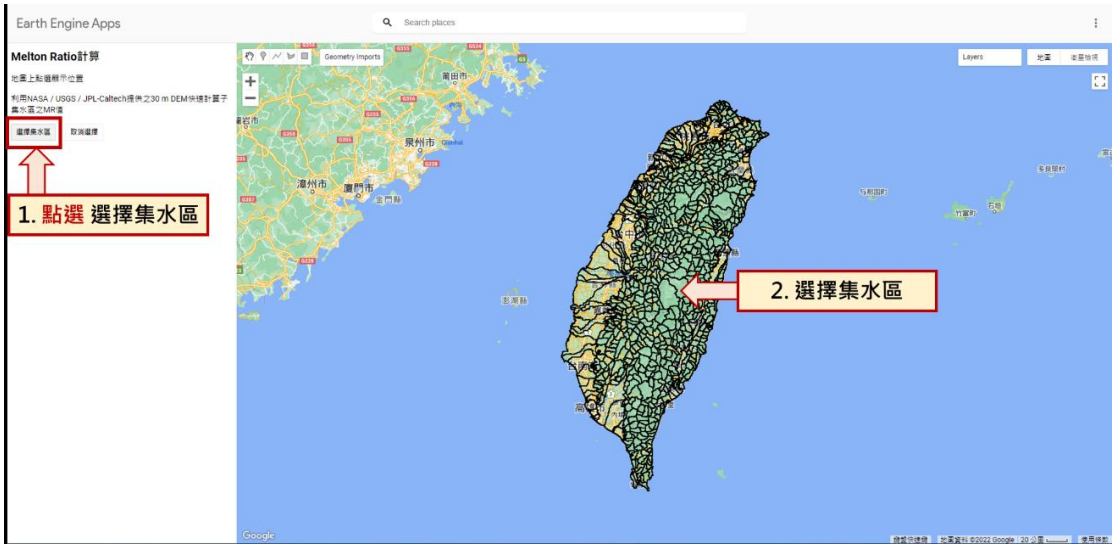


圖 69　GEE 操作步驟示意圖

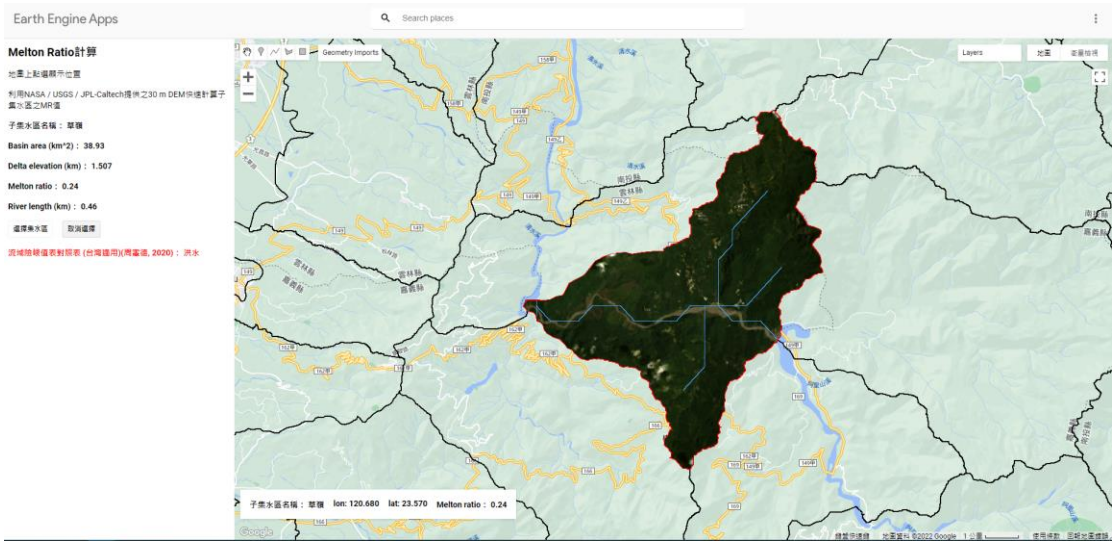


圖 70　GEE 成果展示示意圖

➢ (十二)自然界的非牛頓流體－再談土石流、高含砂水及洪水

山區因豪雨引致的土砂運移形態，包含土石流、高含砂水流及洪水等，這期電子報，讓我們進一步用這三種土砂運移的過程，幫大家快速認識流體力學上的幾個專有名詞，如牛頓流體、賓漢流體、非牛頓流體等，並理解不同流動形態可能造成的影響及破壞力，如圖 71。



圖 71　2004 年七二水災台中松鶴部落土石流/大甲溪土砂淤積情形

土石流就是一種非牛頓流體

土石流是地貌的一種天然行為，本身不是災害，之所以經常與災害畫上等號，就是因為它所到之處，經常帶來巨大的環境破壞力，而究竟土石流是怎樣的一種運動行為呢？

大家對土石流的刻板印象往往是，一團砂石隨著水進行流動。這是很直觀的認定，科學家們稱這樣的行為為非牛頓流體(Non Newtonian Fluid)。

火山噴發熔岩、融冰流動、崩塌、地滑、土石流這些物質流動現象都屬於非牛頓流體的範疇，對非牛頓流體而言，「水」僅為其中一個物質要素，而不是必要，更深入點看，水、砂等物質彼此之間似乎存在著某一種互動機制關係，才導致此種流動現象，要研究土石流之前，就須對此「互動機制」進行了解。

水砂的互動機制會帶來什麼變化？

以水的流動來說，土石流是水砂一連串的混合機制，水的量體由多變少或土

砂逐漸增加的過程，其形態包含清水流流動、高濃度含砂水流、泥流、土石流、塊石流、崩塌等等，如圖 72。

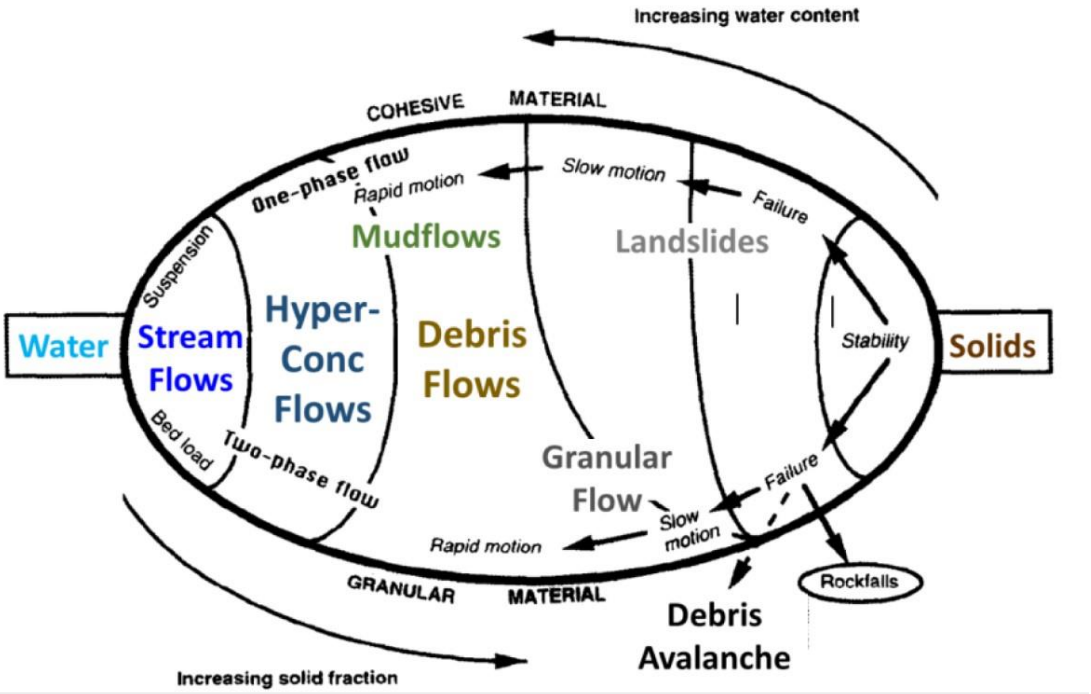


圖 72　水砂混合流動現象分類

那麼這些流體流動又有那些分類呢？參考如圖 73，說明如下：

牛頓流體(Newtonian Fluid)

舉流體為「水」來說，其剪應力與剪應變呈線性關係，分類屬於「牛頓流體」，其斜率為流體的黏滯係數 μ，單位：帕・秒(Pa・s)，而剪應力之截距為零，表示一旦有剪應力發生，水即開始發生變形(流動)。

賓漢流體(Bingham Fluid)

隨著土砂量增加所形成之高含砂水流，稱之為「賓漢流體」，其特性為剪應力存在著一個截距，代表在達到某一個剪切降伏強度前，流體是不會運動的，或者說剪應力小於該降伏剪力強度時，原運動行為則會停止，但基本上其流動性質仍相當類似於牛頓流體。

非牛頓流體

當砂量持續增加，可以看到剪應力與剪應變之間已經呈現非線性關係，代表

其黏滯係數不屬於定值。

上述三個過程又稱之為流變(Rheological)現象。

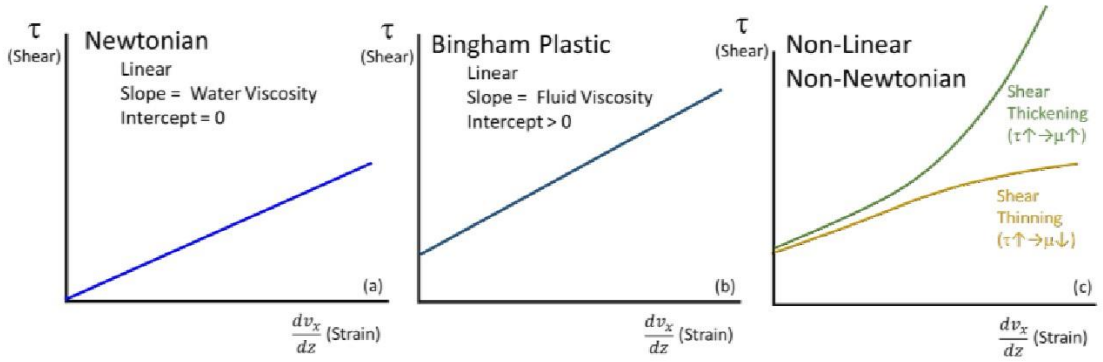


圖 73　流變過程剪應力與剪應變關係

流體力學與土壤力學原來是這樣串接起來的

經由前面簡述流體彼此間的互動行為分類，可初步看出隨著水砂間量體的改變，內部流場開始有了漸進式「質」的變化，這些變化是什麼呢？讓我們以圖 74 來說明。

當在水中加入土砂量體，隨著量體增加，將使整體濃度增加，使得泥漿/土石流性質發生改變，整體流動特性也因此發生變化。當增加流體內的「濃度」，其實也就是增加材料的「黏度」，同時也增加材料的「體積」。在土石流流動過程中，土砂運動可能隨著過程中其他障礙物的存在而逐漸停止，但對流場中的水而言，不會因為障礙物而停止，而是開始避開這些障礙物直到其動能損失全數消散為止，換言之，隨著土砂量體的增加，水流為了避開空間中土砂粒子位置，流場由原本清水流穩定狀態開始形成紊流(Turbulence)場；紊流將使得具有沉積物密度的水砂混合物內的土砂粒子彼此開始產生碰撞，粒子間碰撞則會使得顆粒粒子間產生能量的「損失」。

當土砂量體大幅度的增加時，最終整體流體性質將由土砂間之摩擦力所主導，簡言之，當水中開始加入土砂量體時，在土砂量少時，流體仍維持著水力學的基本性質，但一旦顆粒間開始有了碰撞行為時，則流體行為開始脫離「流體力學」

的範疇，而進入了由土砂強度所主導的力學行為，此時將進入「土壤力學」領域，其運動行為之分析可採土壤剪力強度方程式(例如莫爾-庫倫方程式)。

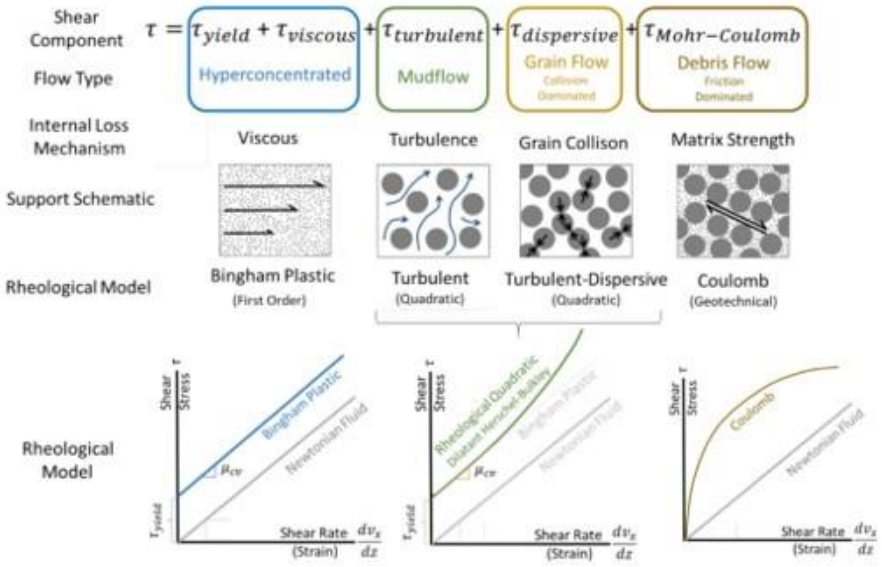


圖 74　非牛頓流體之流動形式及其剪應力與剪應變關係

以能量損失的觀點來簡化非牛頓流體的控制方程式

由於水砂互制造成流體形態的不同，在數值模擬上，不同流體類型(如非牛頓流體的土石流)之控制方程式往往極其複雜，不利於快速模擬。因此，許多學者陸續提出不同的簡化方式。例如如何建立損失與流體剪應力的關係，一般在流體運動過程中，流體的組成物質將會歷經一連串的「能量損失」，如圖 75，以清水流動為例，其控制方程式為淺水波方程式(Shallow Water Equation)，我們可以看到清水流在邊界處會有所謂的摩擦損失，同樣的概念，泥流/土石流則多了其他的黏滯損失、粒子摩擦損失、粒子碰撞損失等。

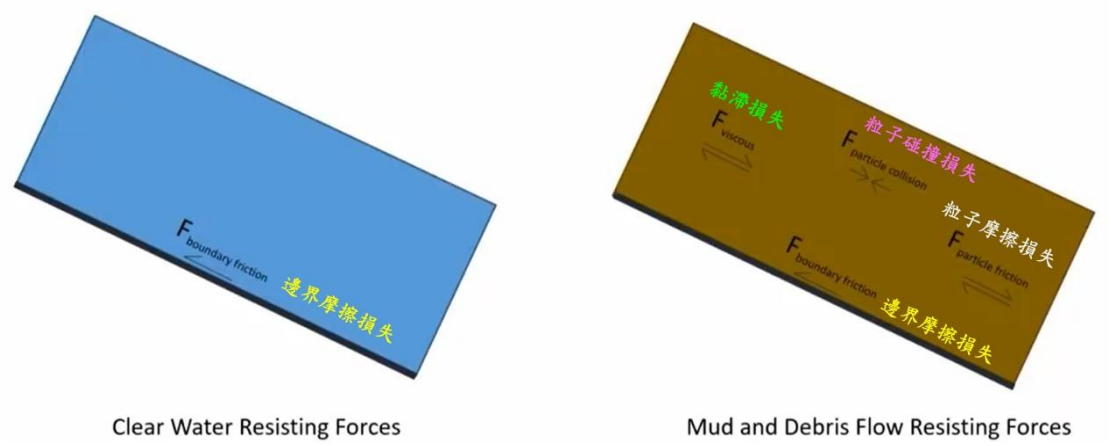


圖 75　清水流與土石流流場內部損失因子示意圖

當以淺水波方程式描述水的運動時，在邊界摩擦損失，常以曼寧公式(Manning's formula)中的摩擦坡度計算，而其可表示為剪應力與水的單位重、水力半徑之關係，如圖 76，依照這樣的觀念，美國陸軍工兵團開發的 Hec Ras 程式，將淺水波方程式中的其他損失項，同樣以剪應力、水的單位重、水力半徑表示，如此，方程式中各項損失將全數由剪應力決定，這時候的流體運動將可把前述「流變」(Rheological)中各項剪應力與剪應變關係帶入公式，並將淺水波方程式改寫成為具有水砂互動之控制方程式，此一概念即為 Hec Ras 開發者所提出之重要轉換概念。

那麼問題是，各項流變過程中，剪應力與剪應變關係要怎麼表示才能描述其運動過程呢？這部分 Hec Ras 彙整過去文獻研究，並將流變過程中的各項演算成果納入模式中，並應用於實驗室土石流試驗及現場土石流災害事件模擬，對土石流的深度、到達時間、模擬範圍達到良好的效果。

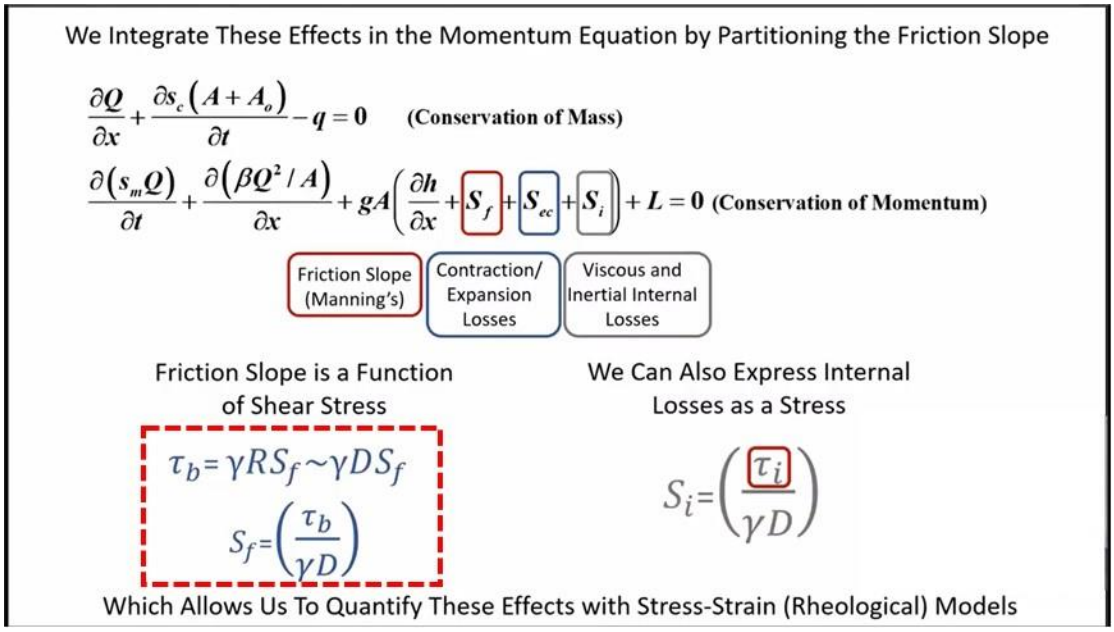


圖 76　土石流流動損失納入淺水波方程式

關於土石流的一些知識

最後，讓我們來談談關於土石流的一些知識：

一般而言，當土石流或清水流發生時，何者流動速度較快呢？

土石流發生時，因土石流塊體內部摩擦損失，將使其流速降低，而在相同的水體體積下，水流流動更快，所以水流速度較土石流快。

一般而言，當土石流或清水流發生時，何者淹沒面積較多呢？

根據連續方程式 Q=AV，流量等於通過面積乘上流速觀點，在相同的質量通量時，因為水的流速較土石流流速快(V 水>V 土石流)，所以土石流的涵蓋面積較清水流大(A 土石流>A 水)，如圖 77，這意味著土石流破壞的範圍更廣。

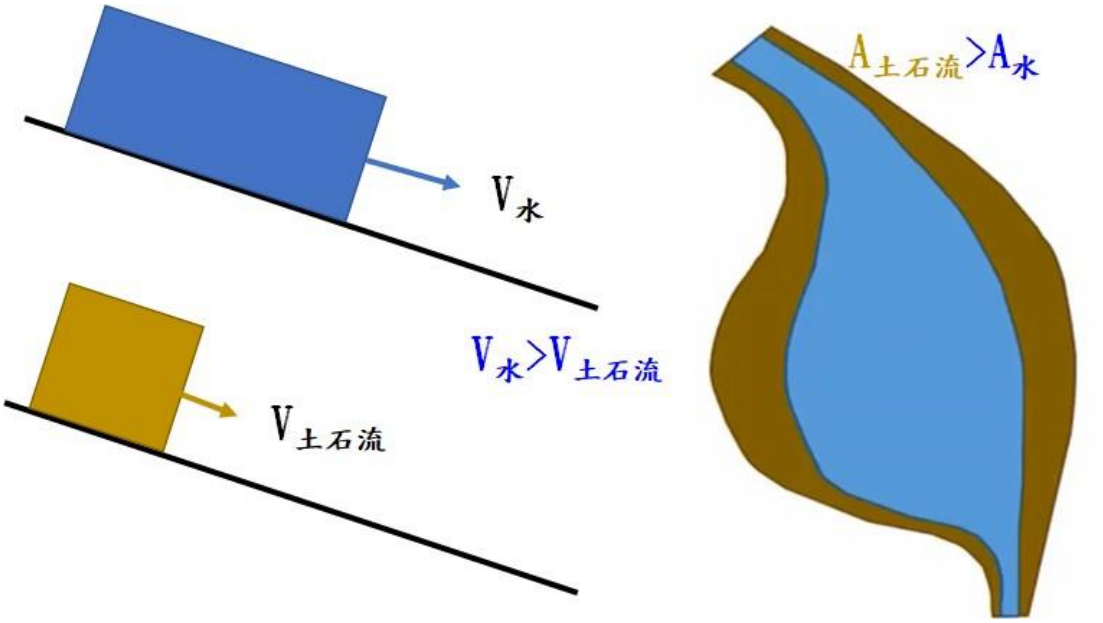
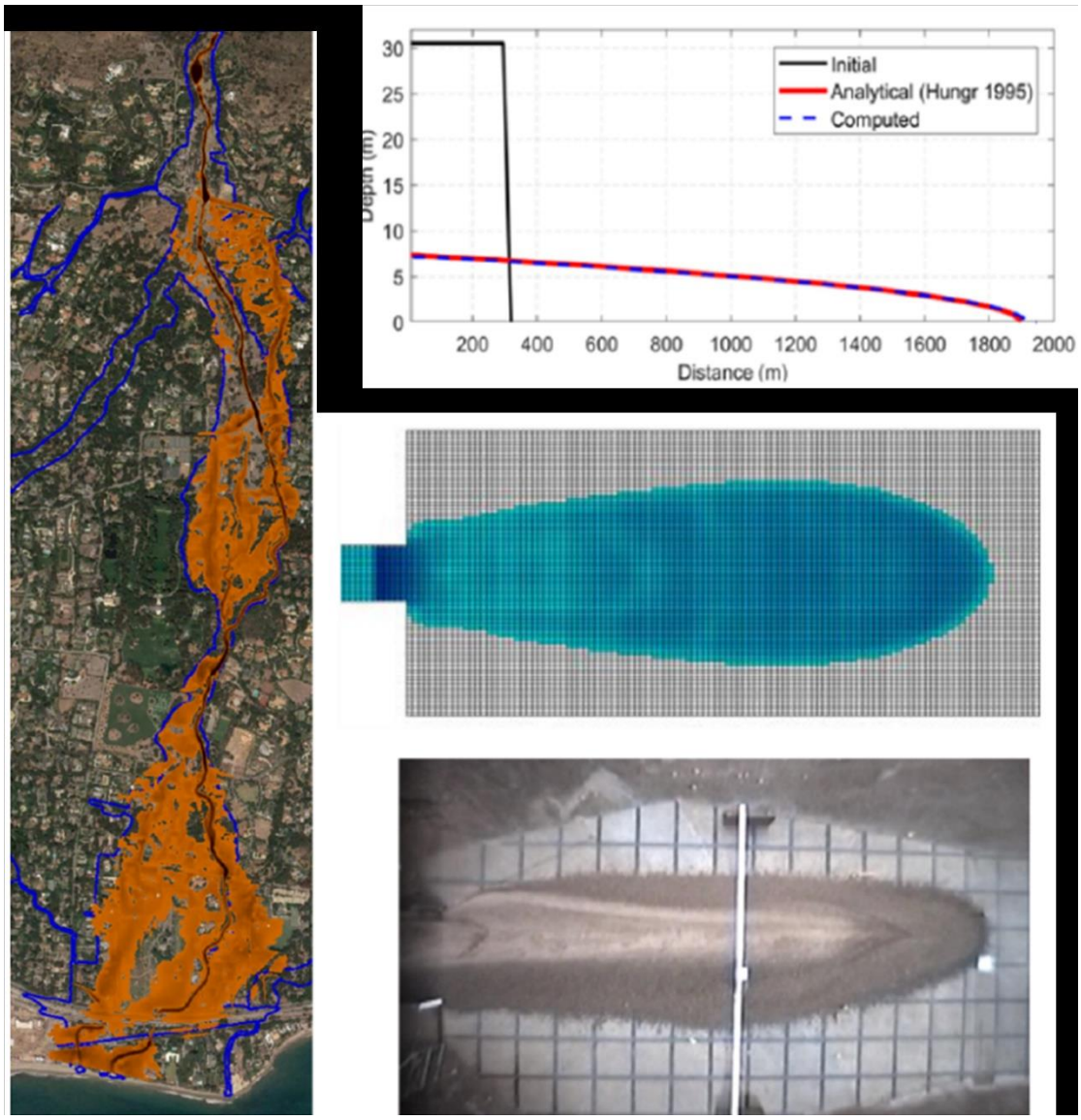


圖 77　土石流與清水流流動速度與範圍示意圖

➢ (十三)HEC-RAS 6.X 新增土石流模擬功能！

上期電子報中，我們初步介紹土石流、高含砂水流及洪水的特性，並幫大家快速認識了牛頓流體、賓漢流體、非牛頓流體等專有名詞。由於土石流發生經常伴隨著嚴重災害，若能在土石流致災前，提前掌握土石流可能的影響範圍，並適時發布警戒及疏散，則能大幅降低人命傷亡。因此在土石流防災整備工作上，如何透過數值模擬，有效預測土石流流動範圍、流動深度、到達時間將是防災情境模擬的三大重點。美國陸軍工兵團所發展的 HEC-RAS 除了可以模擬 1D/2D 的水理演算、潰壩後的洪水模擬外，在 6.0 版開始更新加入了土石流模式，如圖 78。本期電子報將介紹 HEC-RAS 6.x 這個新增的功能，並從實際案例中，見識它模擬土石流流動的能力。



出處：HEC-RAS Mud and Debris Flow,
https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasmuddebris

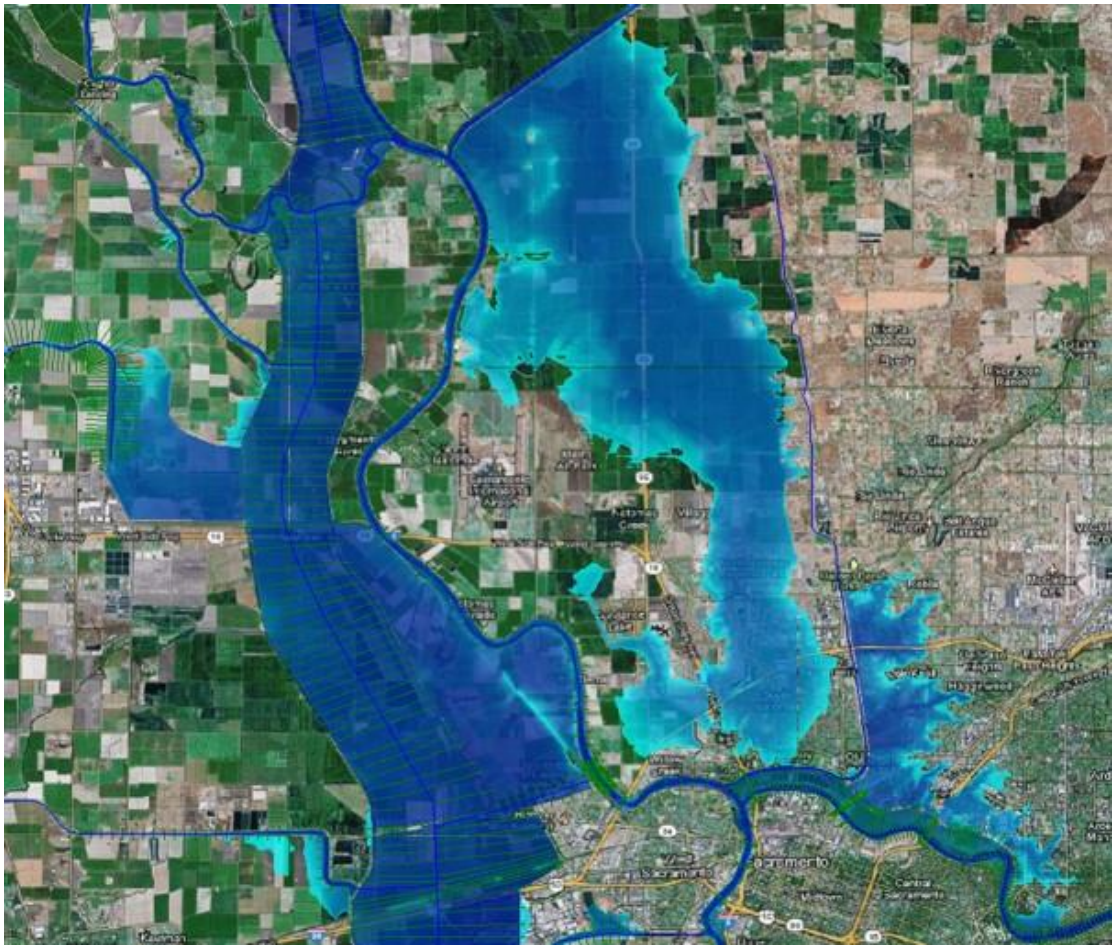
圖 78　HEC-RAS 土石流模擬案例

HEC-RAS 的發展

HEC-RAS 是由美國陸軍工兵團水文工程中心(Hydrologic Engineering Center, Hec)所開發的水文分析系統(River Analysis System, Ras)，具備一維定量流(Steady Flow)、一維/二維變量流(Unsteady Flow)、動床輸砂計算、水溫及水質傳輸模擬能力，在 HEC-RAS 5.0.7 版之前，並未納入泥流/土石流等非牛頓流體之演算模組，於 HEC-RAS 6.0 版之後，已新增一維/二維非牛頓流體模組，目前最新 HEC-

RAS 6.2 版已於 111 年 3 月 11 日提供免費下載。

HEC-RAS 土石流採二維非穩態流動(Two Dimension- Unsteady Flow)模擬，模擬前模式需先就二維水理進行演算(圖 79)，相關模擬設定，可參考 HEC-RAS 2D User's Manual 手冊，此處僅介紹在二維水理條件設定完成後，該如何使用土石流模組。



出處：HEC-RAS 2D User's Manual

圖 79　HEC-RAS 二維淹水模擬示意圖

HEC-RAS 泥流/土石流模擬參數設定方式

在 HEC-RAS 泥流/土石流模組中，HEC-RAS 將水與砂兩者視為一種材料的混和物，採「單相流」(One Phase Flow)模擬。在 HEC-RAS 視窗中(圖 80)，於工具列「檢視/編輯非穩態流資料」 (View/Edit Unsteady Flow Data)選項內，並計有五種非牛頓流體模組提供選擇(圖 81) ，提供相關參數設定(圖 82)，包含牛頓流

體(Newtonian Fluid)、僅體積變化之流體(Only Bulking)、賓漢流體(Bingham Fluid)、歐布萊恩方程式(O'Brien Equation)，及 Hershel-Bulkley 流體。各流動模擬所需輸入之參數群，詳表 2，細部參數設定可參考技術手冊。

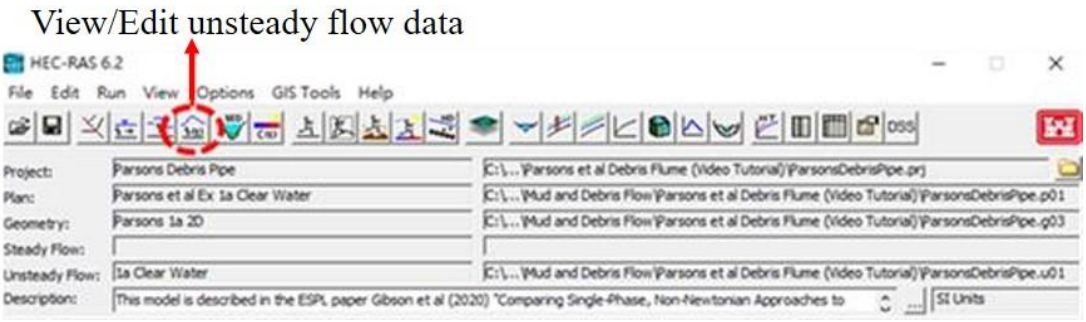


圖 80　HEC-RAS 土石流模組位於非穩態流資料內

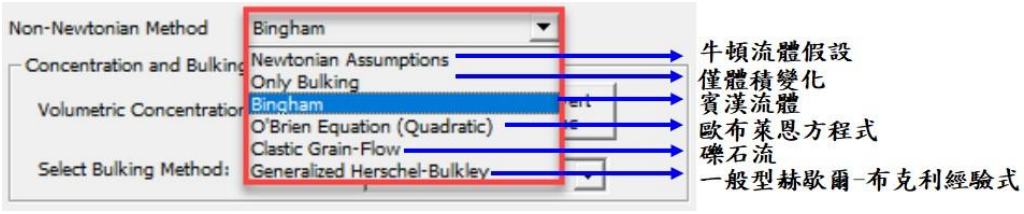


圖 81　HEC-RAS 非牛頓流體功能模組

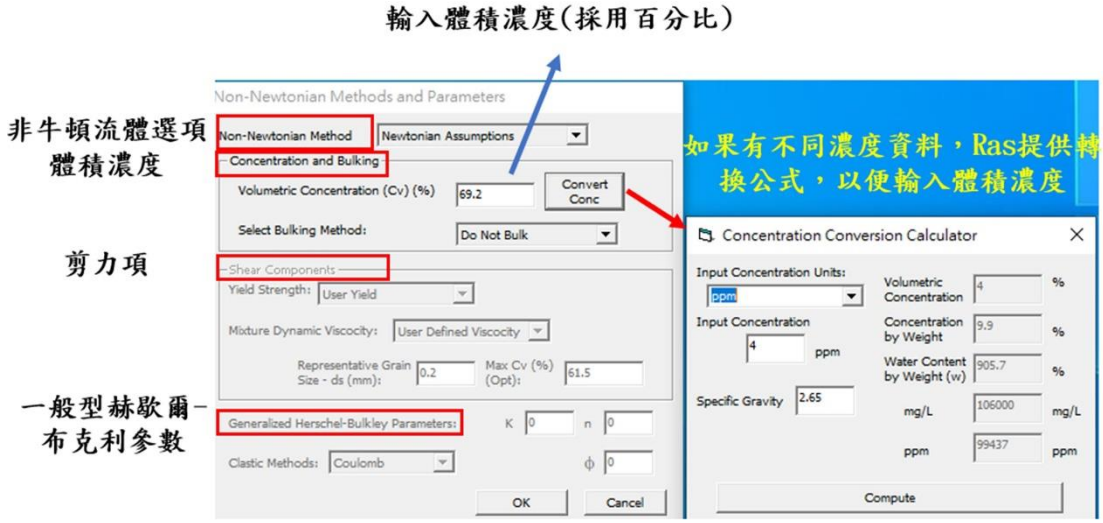


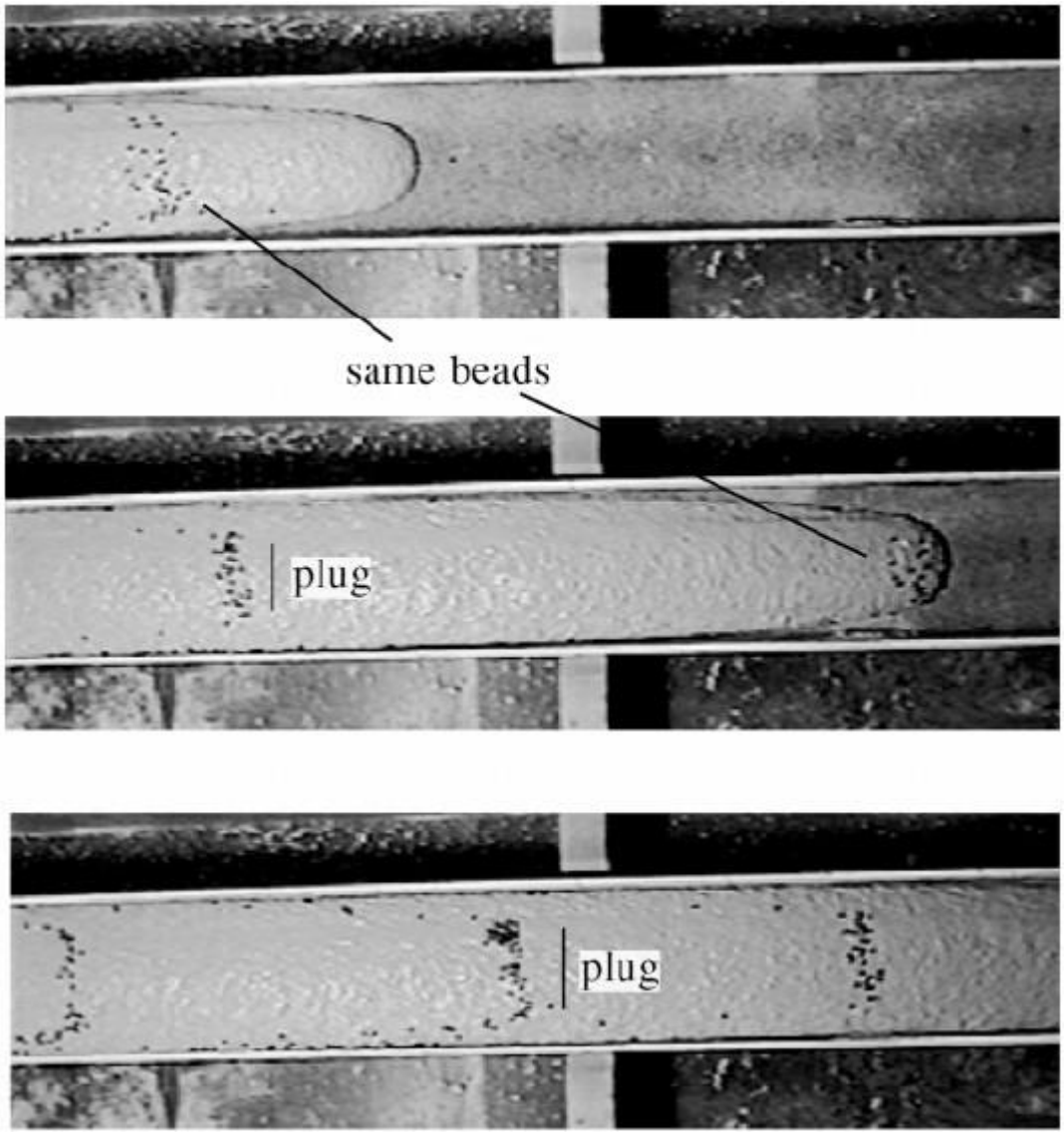
圖 82　HEC-RAS 非牛頓流體參數輸入視窗介紹

表 2　HEC-RAS 非牛頓流體需輸入之參數群

流動模擬選項	參數群
牛頓流體假設 (Newtonian Assumption)	體積濃度
賓漢流體 (Bingham)	體積濃度、剪力項
歐布萊恩方程式 (O'Brien Equation-Quadratic)	體積濃度、剪力項
碎礫石流 (Clastic Grain Flow)	體積濃度、庫倫摩擦角、 Voellmy 紊流係數
一般型赫歇爾-布克利方程式 (Generalized Herschel-Bulkley)	體積濃度、剪力項、赫歇爾-布克利參數

HEC-RAS 土石流模擬成果與室內實驗結果比較

Parsons 等人(2001)曾在實驗室進行土石流實驗，渠道為一個半圓管，上游給予非常高濃度的材料，且採用不同的經典材料做流動實驗，這些材料特性具備高黏滯性並屬於大顆粒碎屑，如圖 83。



出處：Parsons J.D., Whipple K.X., Simoni A. (2001) Experimental study of the grain-flow, fluid-mud transition in debris flows. The Journal of Geology, 109(4), 427–447.

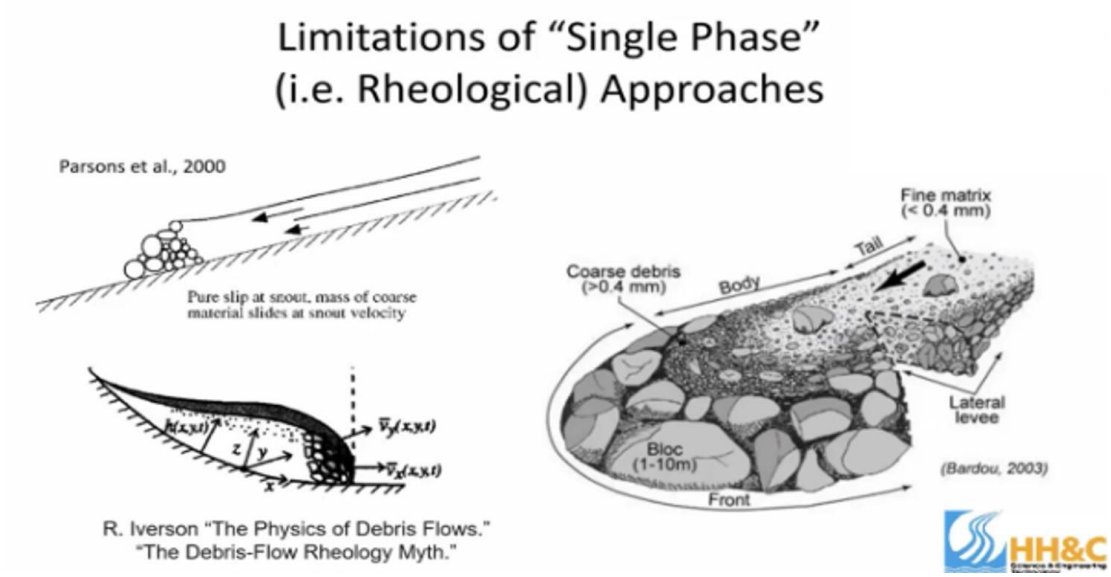
圖 83　Parson 等人(2001)設計土石流渠槽實驗

HEC-RAS 土石流模組開發者之一的 Stanford Gibson 博士以 1 公分解析度的網格建置數值地形來模擬實驗過程，同樣採半圓管輸送土砂，模擬在時間第 10 秒時，”清水流”(Clear Water)及”賓漢流體”(Bingham fluid)流動情形，並與實驗做比對。其結果說明如下：

a.模擬清水流流動時，其流動距離較採賓漢流體模擬時為遠。

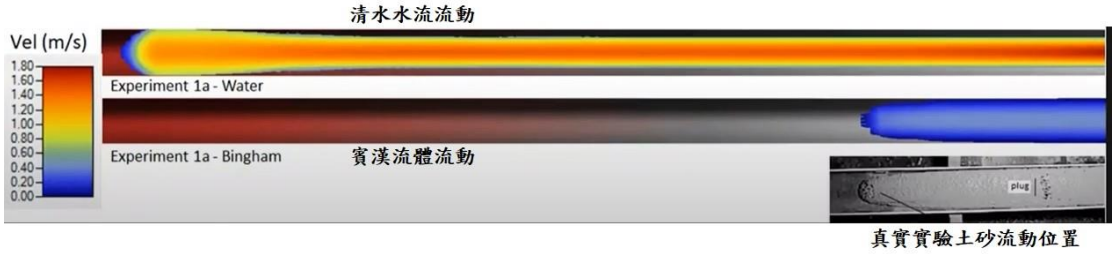
b.採賓漢流體模擬時，其成果與實驗數據大致吻合，但某些結果仍與實驗數

據有不吻合處(奇異點)，這是由於模式將水砂視為"單相流"進行模擬，但實際上，土石流流動時，前端會有高土砂聚集的噴鼻效應(Snout effect)，亦即巨礫集中在前緣的現象，如圖 12-84，這是單相流無法顯示的。但整體而言，模擬成果仍具備相當高的準確度，如圖 85。



出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics)

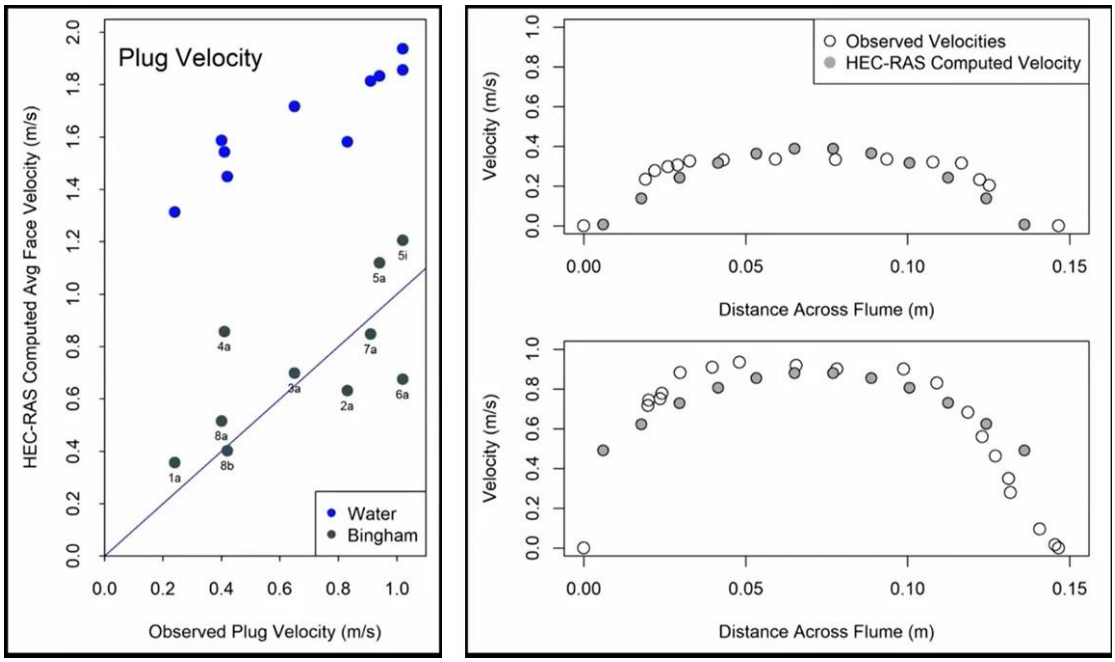
圖 12-84　土石流動前沿之噴鼻效應



出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 85　HEC-RAS 模擬實驗室土砂流動情形

c.該實驗亦針對土石流橫向速度進行測量(圖 86)，比對 HEC-RAS 模擬成果跟實驗數據，兩者吻合度良好。



出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

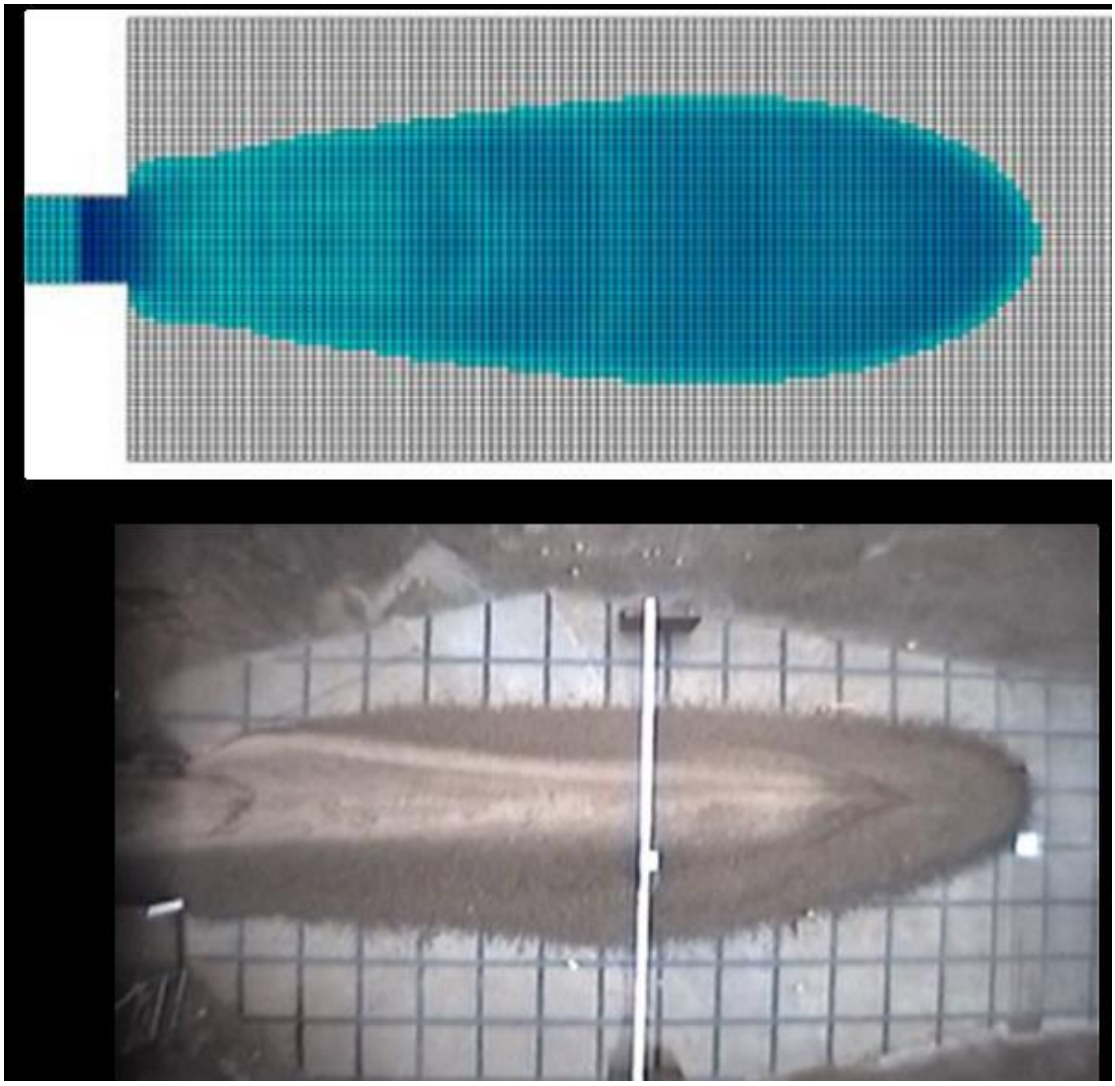
圖 86　HEC-RAS 模擬成果與實驗數據比對

另一案例是溫哥華的火山實驗室所做的試驗(圖 87)，在陡坡將高濃度的土石流往下釋放，並採用 HEC-RAS 進行數值模擬，如圖 88，結果顯示兩者趨勢亦相當吻合。



出處：https://pubs.usgs.gov/of/2007/1315/

圖 87　USGS 土石流動渠槽實驗



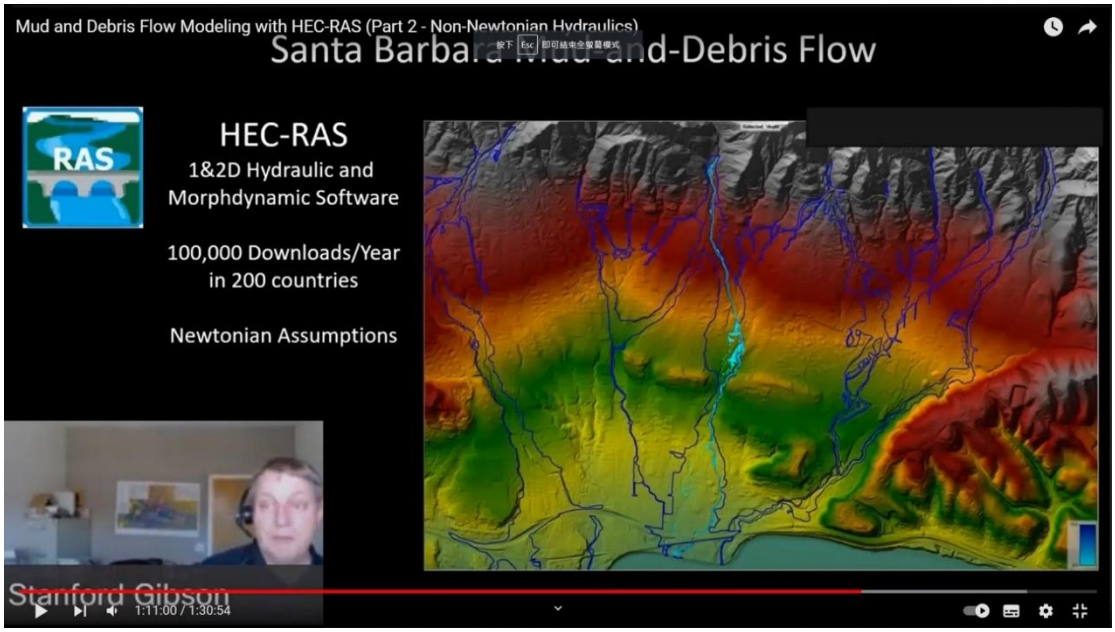
出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 88　溫哥華火山實驗室土石流實驗與 HEC-RAS 模擬成果比較

以 HEC-RAS 土石流模組模擬真實災害案例

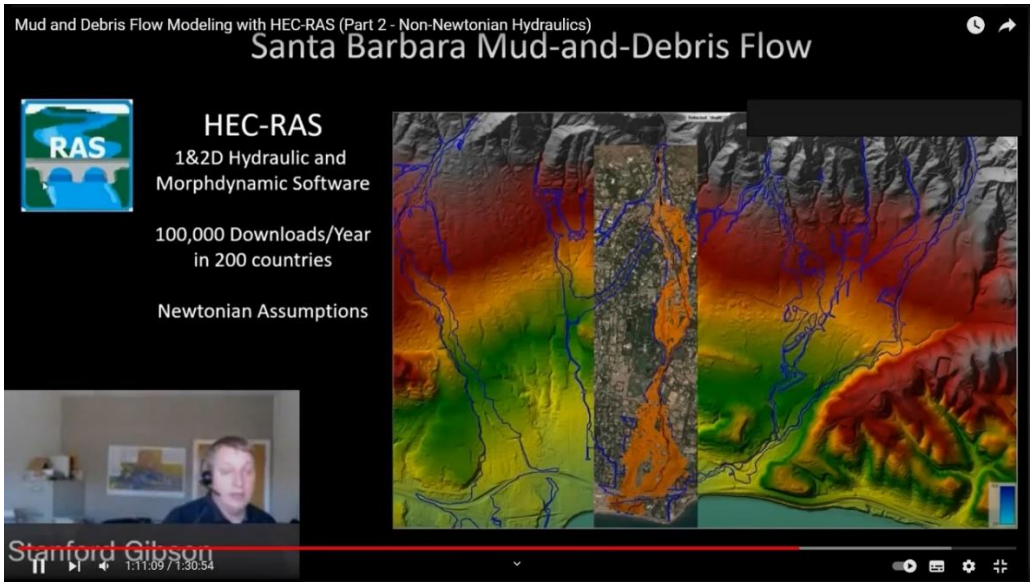
案例一：美國加利福尼亞州的聖塔芭芭拉縣的泥流及土石流

HEC-RAS 模擬發生於加利福尼亞州的聖塔芭芭拉縣的泥流及土石流，模式分別採清水流模擬(圖 89)及賓漢流體模擬(圖 90)，目前模擬成果尚未經過驗證，但初步數值模擬結果發現，對下游洪水有高估，而上游土砂沉積量體有低估情形，主要受模式模擬非牛頓流體時，僅模擬定床(Fixed-Bed)且只給定一個固定體積濃度所致，使得上游有土砂濃度低，而下游土砂濃度高之現象。而現實中，土石流發生前上游經常是帶有高濃度，但停止後，下游土砂開始沉積，且沿程亦有侵蝕/堆積等行為，因此，在執行大型流域的泥流/土石流模擬時，將會造成一些誤差，這是模式目前的限制。



出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 89　聖塔芭芭拉土石流事件中的清水流模擬

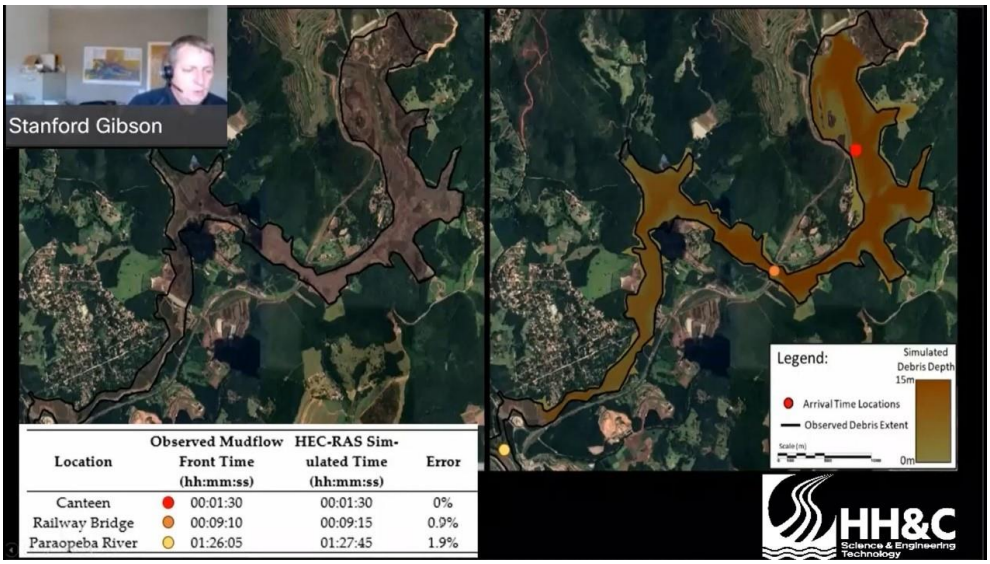


出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 90　聖塔芭芭拉土石流事件中的土石流模擬

案例二：位於巴西的壩體潰壩後土石流

本案例僅提供潰壩發生時事件的位置、三處地點所記錄土石流到達時間等資訊，結果顯示如圖 91，經模擬後土石流到達時間與真實紀錄之時間，兩者誤差不超過 1.9%。



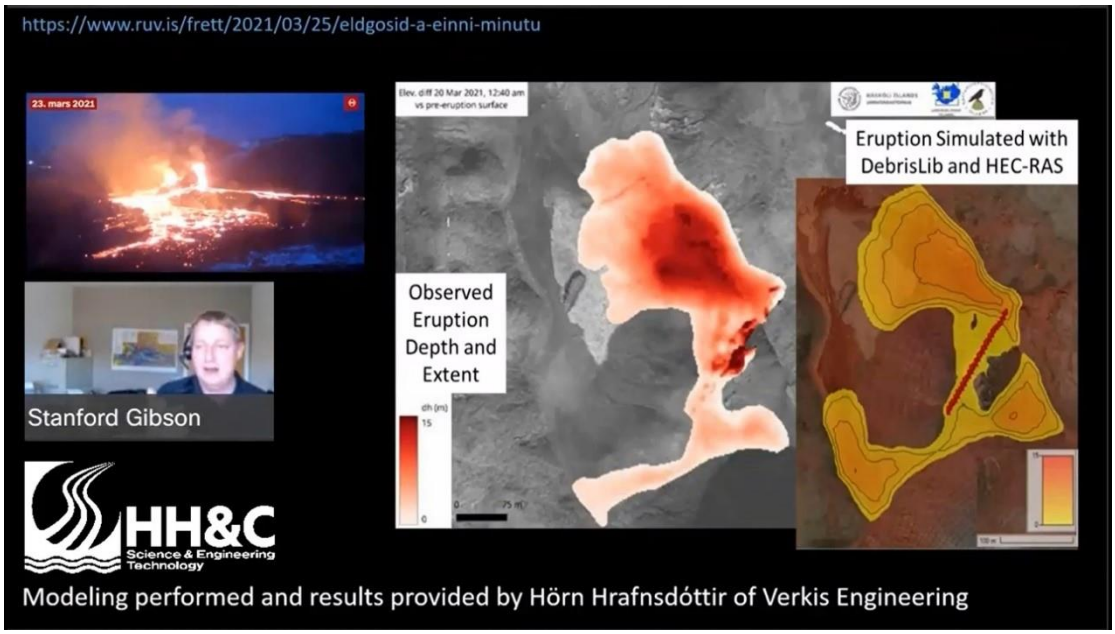
Location	Observed Mudflow Front Time (hh:mm:ss)	HEC-RAS Simulated Time (hh:mm:ss)	Error
Canteen	00:01:30	00:01:30	0%
Railway Bridge	00:09:10	00:09:15	0.9%
Paraopeba River	01:26:05	01:27:45	1.9%

出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 91　HEC-RAS 模擬潰壩後土石流流動範圍、時間

案例三：熔岩流模擬

本案例為針對熔岩流動的模擬，如圖 92，可看出熔岩流動的深度與範圍皆有相當良好的模擬成果。



出處：截圖自 Mud and Debris Flow Modeling with HEC-RAS(Part2- Non-Newtonian Hydraulics), https://www.youtube.com/embed/B1PhAZ8oNPo

圖 92　以 HEC-RAS 模擬熔岩流深度、範圍

HEC-RAS 土石流模組的使用限制

以 HEC-RAS 進行水砂互動模擬時，需先決定水砂運動類型，這需要掌握水砂體積關係，也就是體積濃度(Volume Concentration, CV)，然而不同區域土石流之體積濃度 CV 值，實務上很難具體量化。目前 HEC-RAS 已蒐集相關文獻，提出較為粗略的土砂流動類型分類，供使用者設定時參考(**錯誤! 找不到參照來源。**)，惟後續仍需更多案例進行驗證。

➢ (十四)打破穀倉效應－從仙台綱領到峇里島韌性倡議，強化資訊流通已是減災重要基石

自 2015 年第三屆世界減災會議通過 2015-2030 仙台減災綱領後，國際間對減災的研究、預警系統的開發及調適策略的推動也累積了不少經驗，並且在聯合國減災辦公室的投入與支援下，藉由第七屆全球減災平台論壇 The seventh session of the Global Platform (GP2022)的舉辦，全面性的回顧仙台減災綱領努力至今的成果及挑戰。

COVID-19 及俄烏戰爭影響下國際減災策略的挑戰

GP2022 於 2022 年 5 月 25 日至 27 日在印尼峇里島舉行，平台本身成員已達到 185 個國家，除了內部有一半的女性小組成員外，外部協作人員也有約 40%的女性參與者，會議藉此廣納多元觀點，進一步面對當前的挑戰。從論壇聯合主席總結內容來看，減災策略在 2030 年綱領目標下，面臨了 COVID-19 的全球影響，也受到了烏克蘭戰爭所延伸的系統性衝擊，如全球供應鏈大亂，導致通貨膨脹，並威脅到糧食安全等，整個會議不僅涉及**政策與經濟盤點、資訊系統應用、擴大複合災害預警系統覆蓋率等面向，也將仙台減災綱領與歷次會議相關決議相互呼應**。如聯合國大會 2018 年決議 (A/RES/73/226)中指出，水資源對仙台綱領發展及 SDGs 融入水綠都市的重要性與期待(如圖 1)，或是與聯合國 IPCC 所提出的氣候變遷評估報告 AR6 的對策相呼應，這期電子報將介紹 GP2022 會議結論摘要、GAR2022 全球減災評估報告、以及會中提出的峇里島韌性倡議等目標，還有目前仙台綱領執行儀表板、通用警報協議 (CAP)等應用想像。



圖 1、水綠都市與 SDGs 的想像。來源：metamorworks/Shutterstock

從仙台框架到峇里島議程

近代受極端氣候影響，國際科研學者與決策者們越來越重視「氣候變遷調適(Climate Change Adaptation，簡稱 CCA)」以及「災害風險減輕(Disaster Risk Reduction，簡稱 DRR)」兩策略的整合，而 DRR 主要推動機關「聯合國減災辦公室」(U.N office for Disaster Risk Reduction，簡稱 UNDRR，前身為聯合國國際減災策略署 UNISDR)也在今年提出了全球減災報告 GAP2022，從統計上來看，歷年研究數據指出，災害事件與極端氣候持續增加(如圖 2、3)，並以索馬利亞糧食安全系統影響(如圖 4)為例，提出現今減災的跨域重要性。

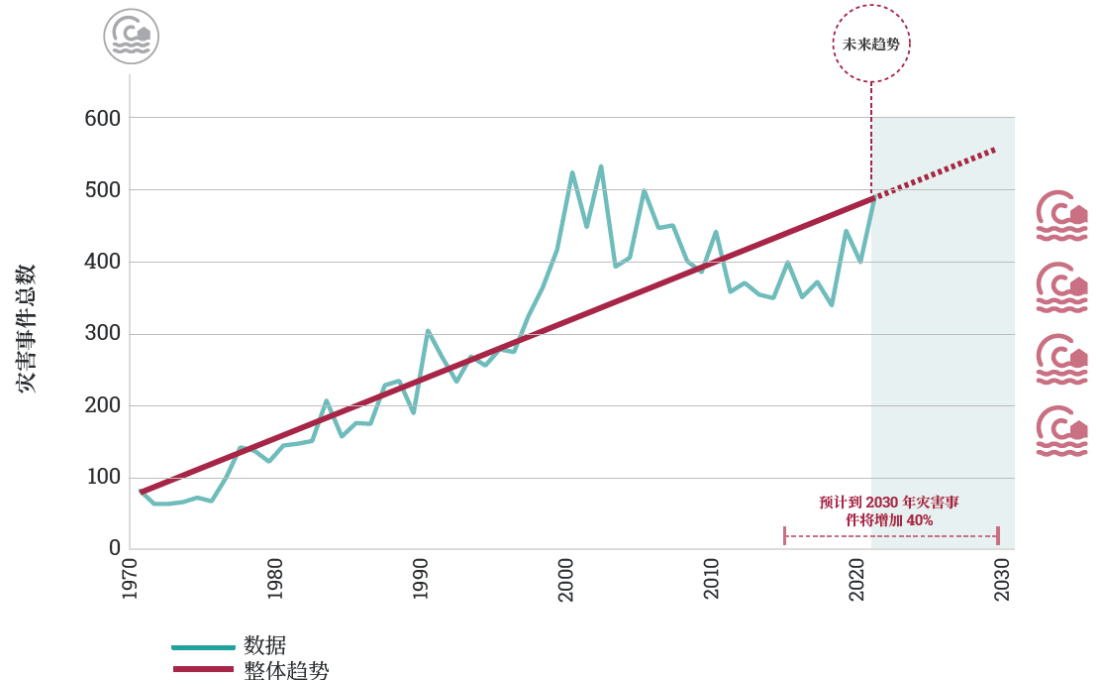


圖 2、1970-2020 年災害事件與 2021~2030 年預測。來源：GAP2022，基於國際災害數據庫 (EM-DAT; CRED, 2021) 的分析

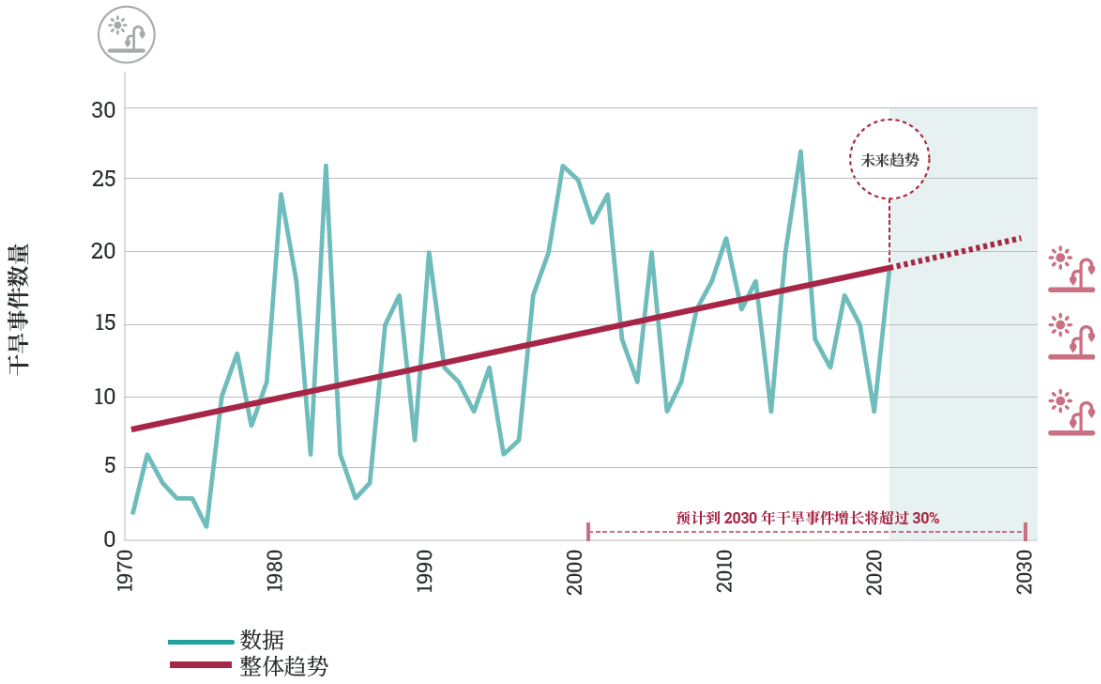


圖 3、1970~2020 年乾旱事件與 2021~2030 年預測。來源：GAP2022，基於國際災害數據庫 (EM-DAT; CRED, 2021) 的分析

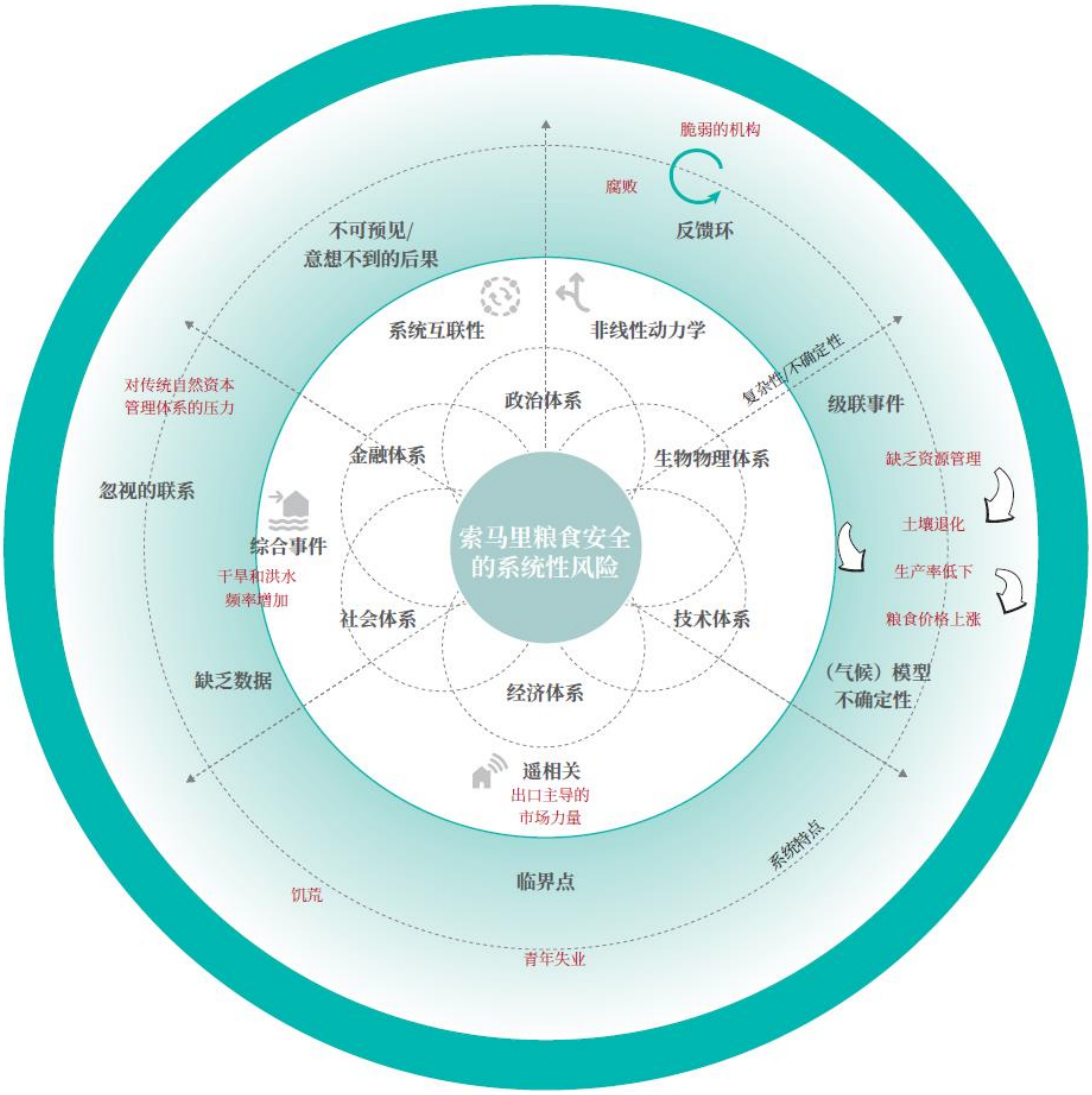


圖 4、索馬利亞糧食安全的複雜性與特徵。來源：GAP2022 改編自 Thalheimer et al.(2022)

UNDRR 也在今年舉辦的第七屆論壇 GP2022 中提到，減災不僅需要跨領域，跨種類，更需要多元角度與部門參與，來破除各自的穀倉效應邊界(如圖 5)。(**註：穀倉效應**，是指企業或組織內部因「過度分工」而缺少溝通，一個部門、營運單位或業務單位，就像一個個高聳豎立的穀倉，彼此鮮少往來，也不願與其他單位分享資訊。)

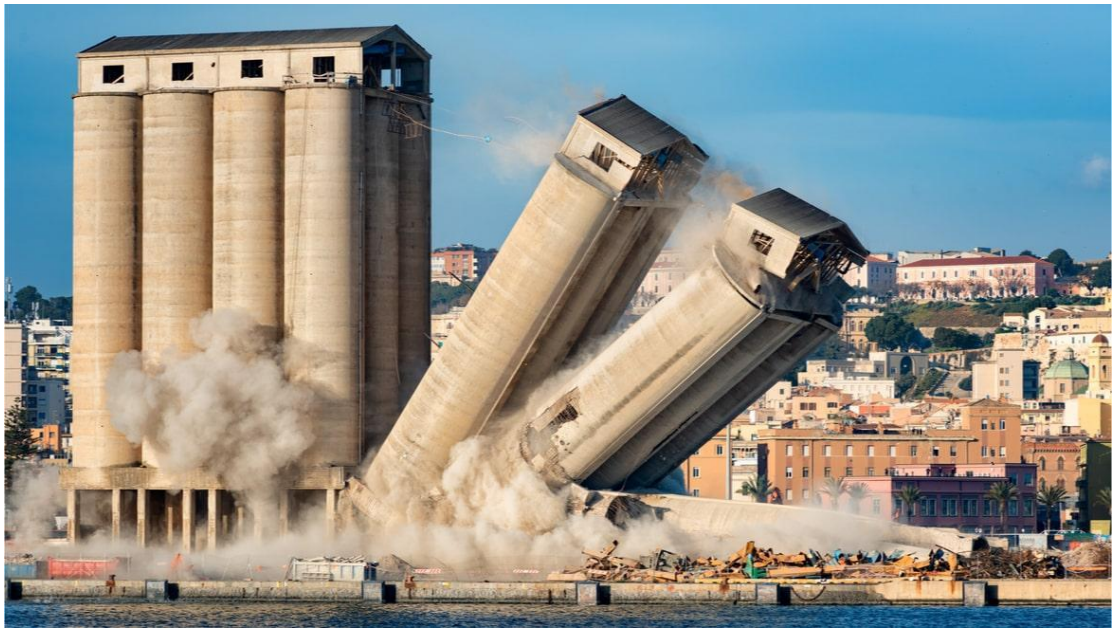


圖 5、破除多重穀倉效應，概念圖。來源：Stefano Garau/Shutterstock

論壇主席藉由多方討論，概括了目前對於 COVID-19、烏克蘭戰爭所造成的系統性影響，呼籲減災需要從跨制度、跨系統的角度來看待，而公私協力與資料應用更是面對災害時，復原韌性與預警架構的重要基礎。這些結論形塑了峇里島韌性倡議的架構，總結包含跨越制度、結合經濟、以人為本、強化預警等目標。

峇里島倡議的時間點，正好是仙台綱領計畫的中間點，從 UNDRR 及合作夥伴所發展的開源儀表板 DesInventar 來看(如圖 6)，不管是基礎資料建置(如圖 7)，還是資料視覺化(如圖 8)，都是後續研究分析與資料治理的重要依據，也是未來達成仙台綱領的重要基石。



圖 6、DesInventar：災害資訊管理系統。來源：https://www.desinventar.net/

Please select the region database to query:

Country/Region	Period	Institution
Albania Query Map	1851 - 2020	Profile
Angola Query Map	1917 - 2021	Profile
Antigua and Barbuda Query Map	1950 - 2014	Profile
Argentina Query Map	1970 - 2015	Profile
Barbados Query Map	1099 - 2017	Profile
Belize Query Map	1931 - 2011	Profile
Bhutan Query Map	2009 - 2015	Profile
Bolivia Query Map	1970 - 2015	Profile
Burkina Faso Query Map	1974 - 2016	Profile
Cambodia Query Map	1996 - 2020	Profile
Chile Query Map	1970 - 2014	Profile
Colombia Query Map	1914 - 2018	Profile
Comoros Query Map	1808 - 2014	Profile
Costa Rica Query Map	1968 - 2019	Profile
Djibouti Query Map	1944 - 2012	Profile
Dominica Query Map	1951 - 2014	Profile
Dominican Republic Query Map	1966 - 2000	Profile
Ecuador Query Map	1970 - 2019	Profile
Egypt Query Map	1980 - 2010	Profile
El Salvador Query Map	1900 - 2015	Profile
Equatorial Guinea Query Map	2010 - 2021	Profile
Eswatini Query Map	2011 - 2019	Profile
Ethiopia Query Map	1899 - 2019	Profile
Gambia Query Map	1899 - 2018	Profile
Ghana Query Map	201 - 2018	Profile
Grenada Query Map	1771 - 2014	Profile
Guatemala Query Map	1988 - 2015	Profile
Guinea Query Map	2014 - 2015	Profile
Guinea Bissau Query Map	2017 - 2018	Profile
Guyana Query Map	1972 - 2013	Profile
Honduras Query Map	1915 - 2015	Profile
Ibadan Metropolis Query Map	1991 - 2016	Profile
Indonesia Query Map	1815 - 2019	Profile

圖 7、DesInventar 資料庫摘錄。來源：https://www.desinventar.net/

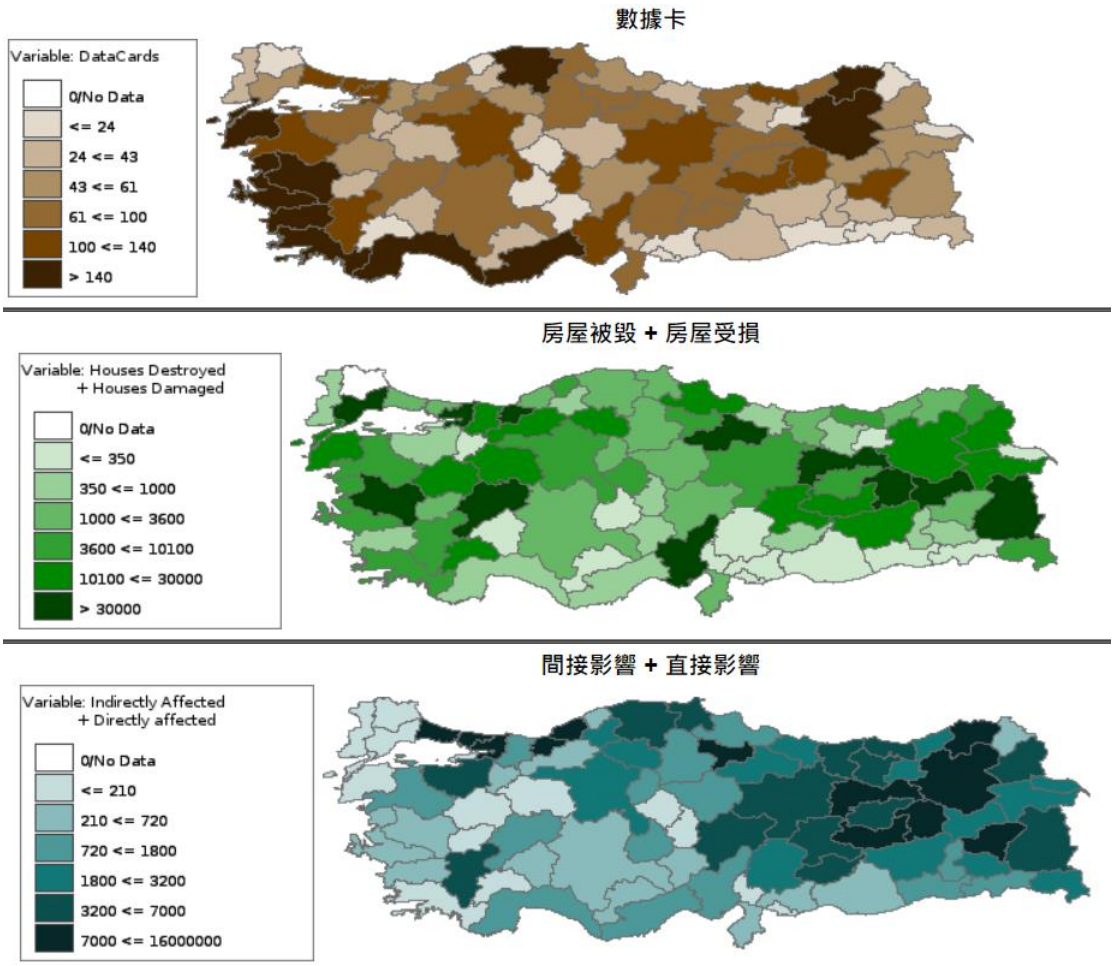


圖 8、土耳其災害統計儀表板。來源：https://www.desinventar.net/

整體而言，會議結論強調，打破穀倉效應以加速資訊流通，並在此基礎上建立複合型災害預警系統(Multi-Hazard Early Warning Systems, MHEWS)，係減災措施上的重要工作。此外，從跨災害影響到跨領域、制度的對策設計，以及應用資料治理架構進行輔助，不僅是各國應對氣候變遷的解方，更是全球防減災對策的關鍵方向。

通用警報協議 (CAP)的跨域應用

複合災害與預警系統不僅是氣候變遷下的重要議題，也是本次會議的焦點之一，其中 GP2022 Ignite Stage 講座中，現任非營利組織 Alert-Hub.Org CIC(Community Interest Company)執行長 Eliot Christian 進一步展示了目前 Common Alerting Protocol (CAP)共通示警協定的協作應用，比如美國的重大即時

警報(如圖 9)、全球 CAP 資訊整合地圖(如圖 10)，從地圖中也可看到目前臺灣應用 CAP 所發布的相關訊息(如圖 11)。

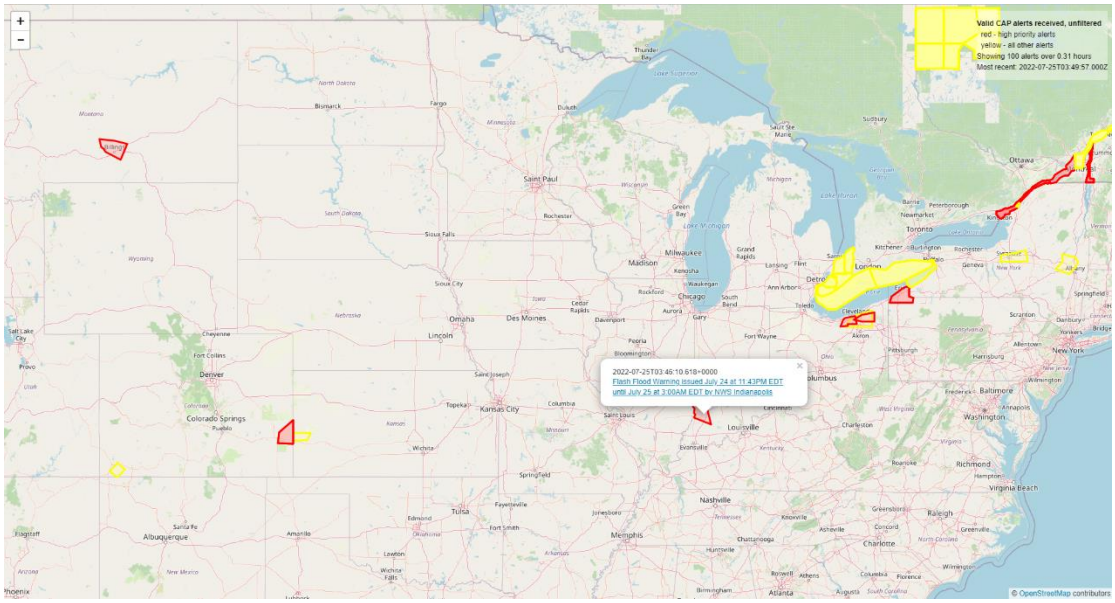


圖 9、CAP 應用，重大即時警報。來源：https://www.alert-hub.org/



圖 10、全球 CAP 資訊整合地圖。來源：https://www.alert-hub.org/



圖 11、臺灣 CAP 發布應用。來源：https://www.alert-hub.org/

在全球防減災體系中，氣候變遷議題環環相扣，不只是單一國家或區域的問題，從 GP2022 主席總結及峇里島倡議中可感受到，對於複合災害建立早期預警系統的重要性，包含了發展中國家、海島地區、自主社區與政府的協力、開源資料與協作等議題。在邁向 2030 年仙台綱領的目標路上，更廣泛的政經合作、跨國資料應用、以人為核心的防減災合作架構，將是後續發展及努力的方向。

相關連結

1. 中央災害防救會報- 2015-2030 仙台減災綱領中文版本：

https://cdprc.ey.gov.tw/Page/102B58FEB2E0F261/f5b3bb3a-114a-481f-8760-271d074aac56

2. A/RES/73/226 - 國際行動十年執行情況中期全面審查，水促進可持續發展，2018-2028：

https://sdgs.un.org/documents/ares73226-midterm-comprehensive-review-25619

3. UNDRR - GAR2022 減少災害風險全球評估報告：

https://www.undrr.org/gar2022-our-world-risk#container-downloads

4. GP2022 論壇主題-從風險到復原力：在 COVID-19 轉型的世界中實現所有人的可持續發展性：

https://globalplatform.undrr.org/about/gp2022-themes

5. GP2022 論壇議程與主席總結文件：

https://globalplatform.undrr.org/programme/key-documents

6. 峇里島韌性倡議結論：

https://globalplatform.undrr.org/publication/co-chairs-summary-bali-agenda-resilience

7. NCDR-當災害遇上變動的氣候，調適勢在必行：

https://dra.ncdr.nat.gov.tw/Frontend/Disaster/StrategyIndex?Category=CountryStrategy

8. 打破孤島以建立復原力——管理災害風險的多災種、多部門方法：

https://www.undrr.org/news/breaking-silos-build-resilience-multi-hazard-multi-sectoral-approaches-managing-disaster-risks

9. 仙台綱領減災監視儀表板：

https://www.desinventar.net/

10. GP2022 講座-使用通用警報協議 (CAP) 跨多個警報機構進行緊急警報：

https://globalplatform.undrr.org/conference-event/using-common-alerting-protocol-cap-emergency-warning-across-multiple-alerting

11. 非營利組織 Alert-Hub.Org：

https://www.alert-hub.org/

➢ (十五)河川水系圖製作教學與全球水系圖下載 / HydroSHEDS & ArcGIS

河流對於生態及環境皆為重要的資源，其自源頭處一點一滴的收集雨水形成蝕溝或小野溪，慢慢積聚成綿延河流，最後流入大海。這些水流持續影響著地形地貌，卻也深深地被地形所影響 (圖 1)。過去要繪製水系網路如此複雜的資訊，常需要大量的圖資加上人工的經驗判斷或透過航照圖的描繪。然而，隨著資訊科技的進步，現在只需要簡單的操作步驟，就能快速的利用數值地表高程 (Digital Elevation Model, DEM) 製作出目標區域的河川水系圖。

本期電子報將介紹免費開放的 HydroSHEDS 全球水系圖及利用 ArcGIS 自製河川水系圖的相關操作，最後透過 Google earth engine (GEE)線上展示河川水系圖的產製結果，同時比對兩種水系圖的差異。



圖 1、水系是地球的動脈 (Jonatan Pie/Unsplash)



圖 2、空中鳥瞰台灣水資源 (台南白河水庫；水保局-歷史影像平台)

全球尺度的水系圖－HydroSHEDS

HydroSHEDS (Lehner et al., 2008) 計畫係由美國世界野生動物基金會 (World Wildlife Fund US) 於 2006 年發起，旨在創建免費且具有一致尺度和解析度的**水文數據產品** (如圖 3，集水區邊界、河川水系圖和湖泊等) (.shp)。該計畫所提供的水文資訊，由於其全球尺度且無縫的特性，能提供給區域或大範圍水環境生態之相關研究應用及規劃，更利於水環境建模和生態保護等應用 (如**圖 4**)。

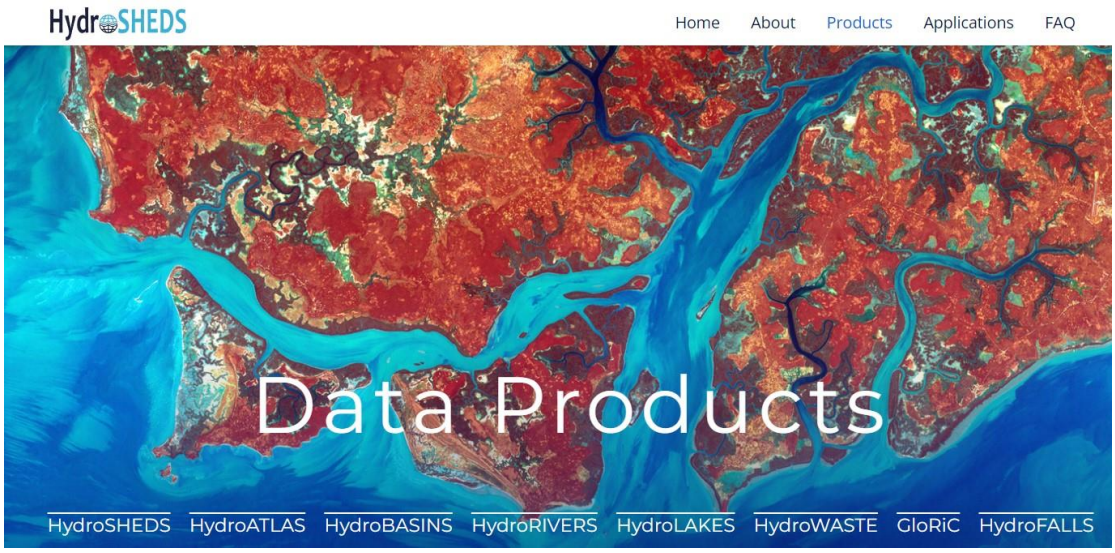


圖 3、HydroSHEDS 產品頁面 (HydroSHEDS)

HydroSHEDS 的產品係使用 NASA 的太空梭雷達地形測繪任務 (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) 所得到的 DEM 產製而成，其解析度為 3 弧秒 (於赤道約 90 m)。不過，北緯 60°以上地區由於沒有 SRTM 高程數據，HydroSHEDS 係透過解析度約 1 km 的 HYDRO1kDEM 產製此區域的相關水系圖資，以補遺資料缺漏部分。

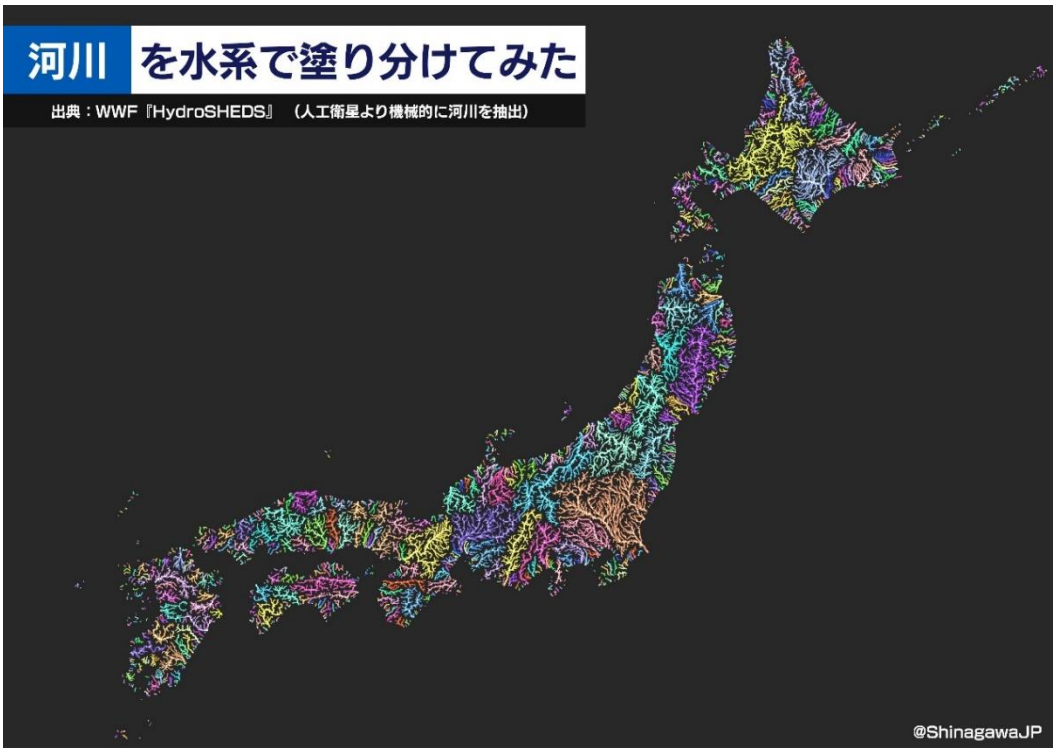


圖 4、日本一級水系圖資應用 (@ShinagawaJP)

目前該計畫即將推出 **HydroSHEDS v2**，其 DEM 數據來自德國航太署 (German Aerospace Agency, DLR) 和空中巴士 (Airbus) 合作的 TanDEM-X 所產製。透過 TanDEM-X 之 DEM 可產製解析度約 12 m 的精細水系及相關水文產品 (如圖 5)。根據其發佈計劃，111 年將優先發布北緯 60°以上地區的資料，並於 2023 年免費提供全球範圍的資訊。

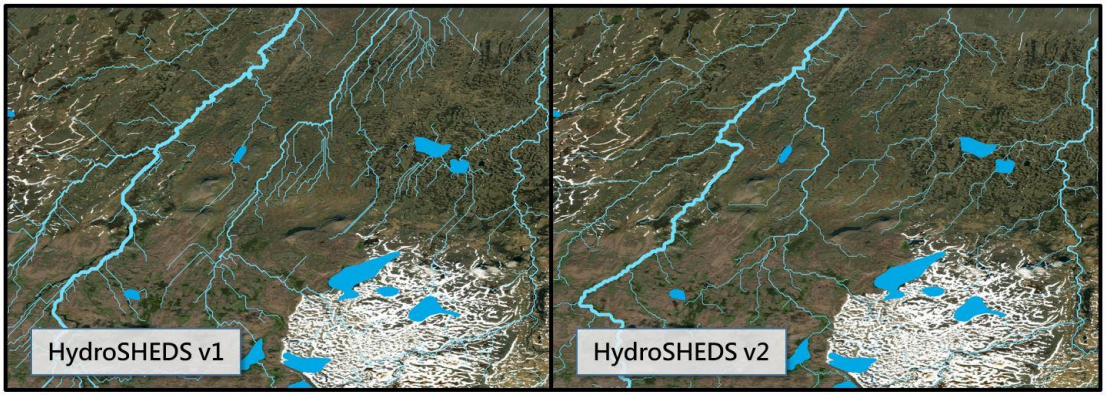


圖 5、HydroSHEDS 兩版本比較範例圖 (HydroSHEDS v2)

用 ArcGIS 空間分析工具 (Hydrology)自製臺灣水系圖

隨著地理資訊在各領域上的蓬勃應用與發展，ArcGIS 內建的各項功能也日趨專業化及自動化。倘若要進行水文相關的處理，勢必得了解工具箱中空間分析工具的水文分析模組(Spatial Analyst Tools > Hydrology)。

Hydrology 模組主要係利用 DEM 建立地表水流模型，透過地理空間及數學分析，知道水來自何方及未來流向何處。這些水流資訊被廣泛應用於與地形、水文、水理等相關的領域。接下來，我們將以四個步驟介紹如何使用 Hydrology 模組，自製河川水系圖 (ArcMap 及 Pro 適用)。

一、DEM 處理

為了避免地形上有坑洞或凹陷處，使系統無法自動計算流向及流路，須先以 Fill 功能將 DEM 上的坑洞填平，範例將利用內政部於 2015 年所提供之 **20 公尺網格數值地形模型資料**進行示範 (圖 6)。

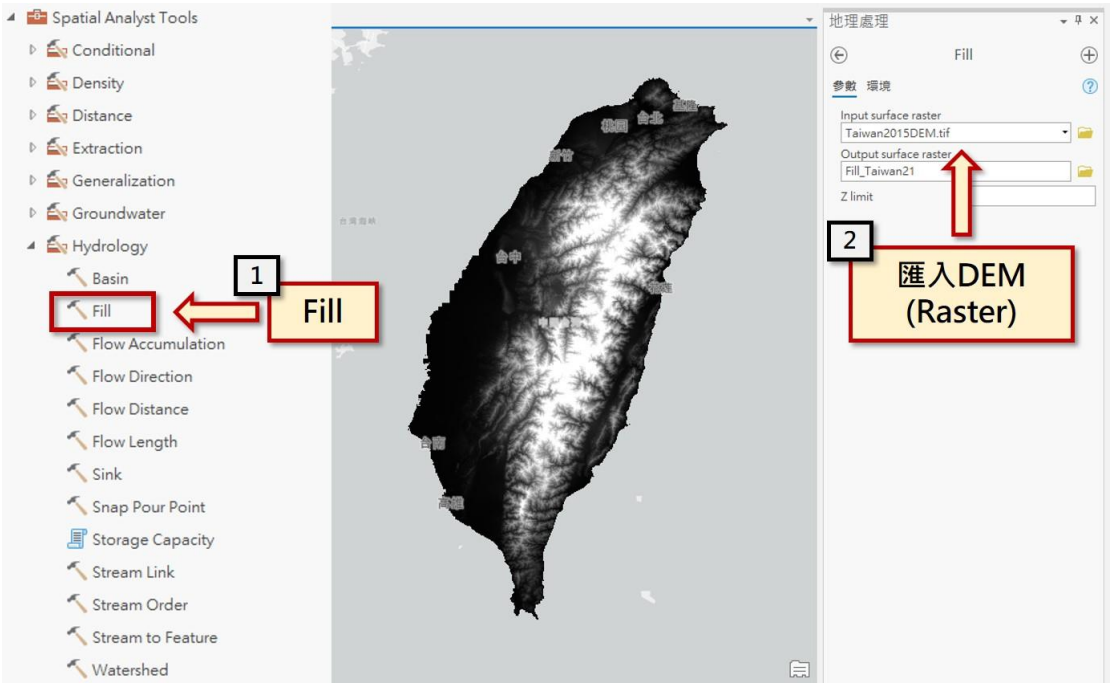


圖 6、DEM 處理操作示意圖

二、分析流向

利用 Flow Direction 工具自動分析 DEM 之流向，系統會自動建立每個網格流到相鄰網格的流向 Raster 圖，並可調整 D8、多流向 (Multiple Flow Direction, MFD) 或 D-Infinity (DINF) 三種計算方法 (圖 7)，介面操作如圖 8 所示。

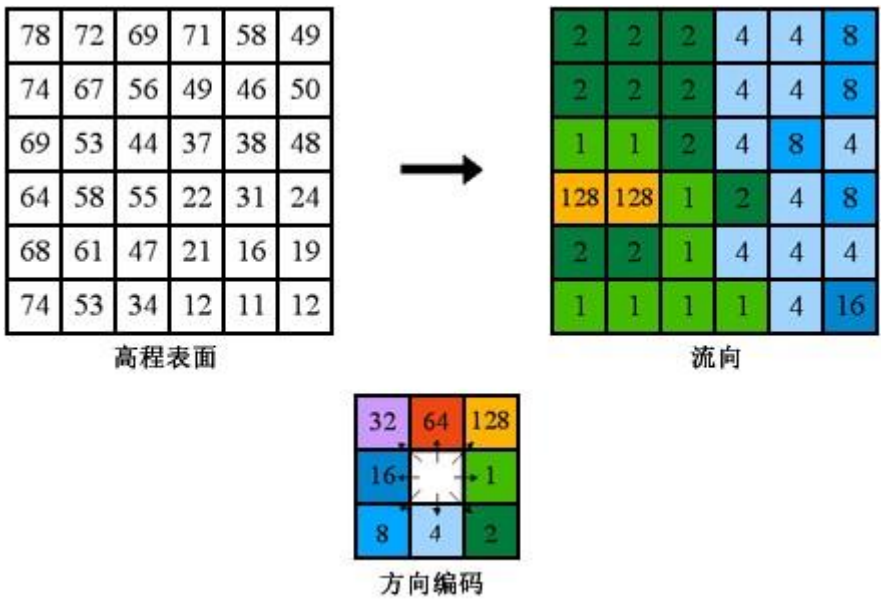


圖 7、流向分析計算模式示意圖 (ArcGIS pro)

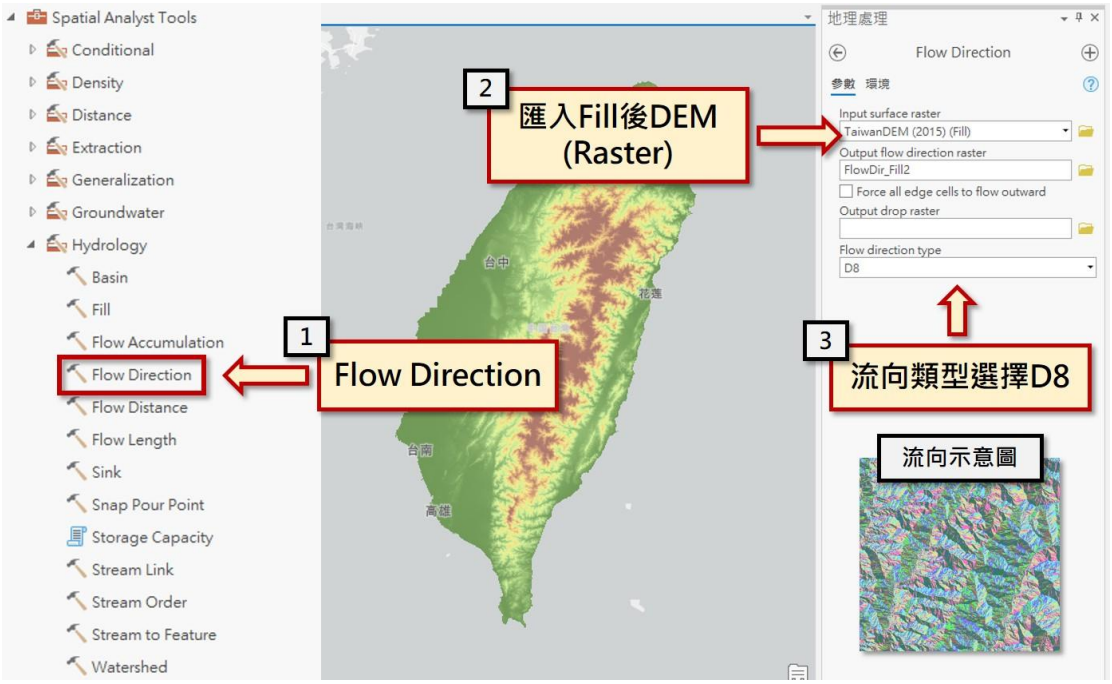


圖 8、流向分析操作示意圖

三、分析流量

完成流向分析後，Flow Accumulation 工具能自動匯集 Flow Direction 的數據，計算出每一個網格分別有多少數目的網格會累積匯流至此(以下簡稱為流量)，並自動建立每個網格的流量圖(Raster 格式，圖 9)。接下來，我們將流量圖設定網格顯示與否之上限值，當某網格之流量大於上限值時即顯示該網格(例如著紅色)，反之則不顯示。至此，已可看出河川水系圖之雛形 (圖 10)。

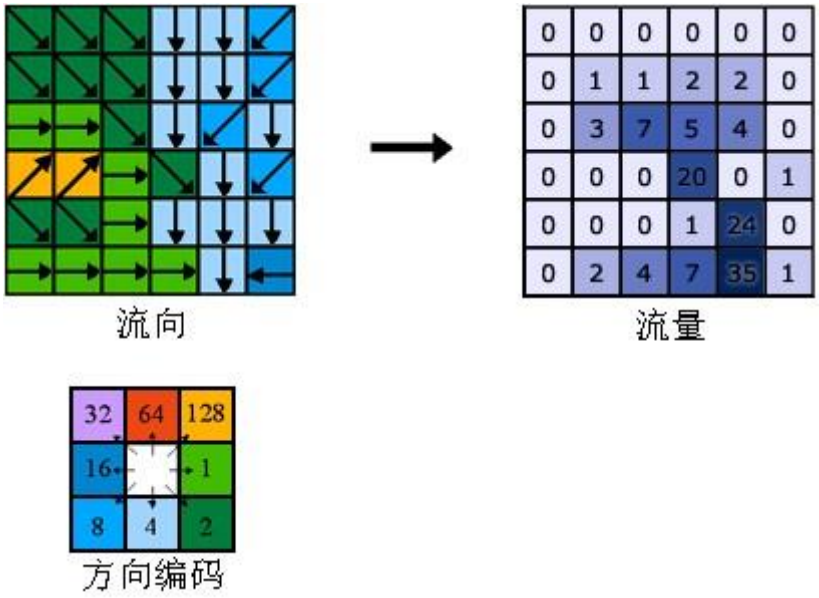


圖 9、流量分析計算模式示意圖 (ArcGIS pro)

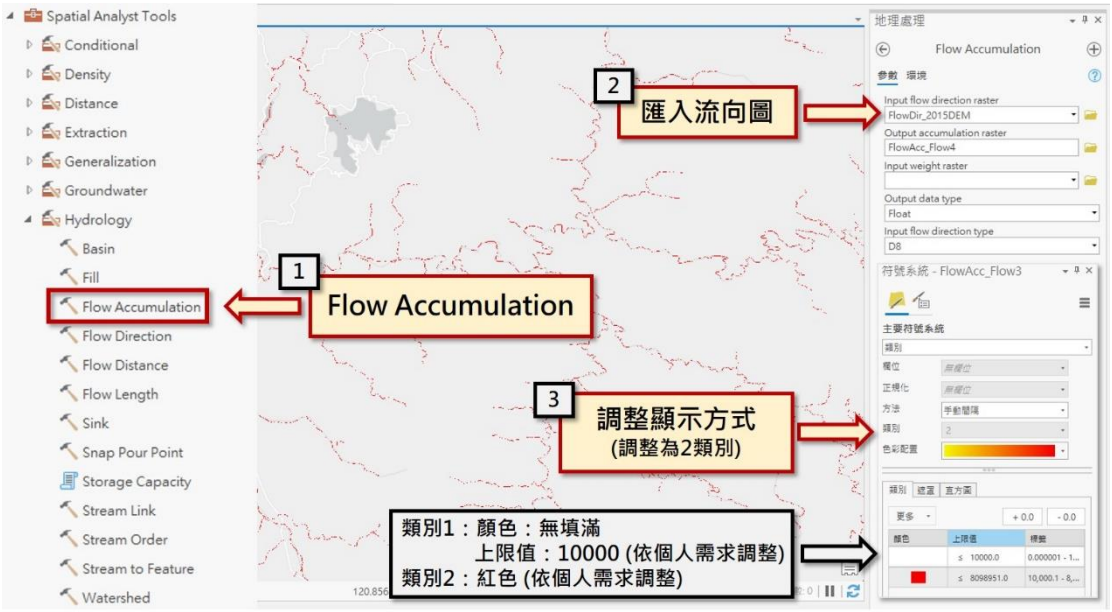


圖 10、流量分析操作示意圖

四、完成河川水系圖 Shapefile

接著，利用 Raster Calculator 調整 Shapefile 所要呈現之門檻值，將其轉換為 0 及 1 之 Raster 資料。本範例篩選 Accumulation 大於 10,000 (集水區面積大於 400 ha，20 m x 20 m x10,000) 之網格作為河川水系呈現，如圖 11 所示。最後，用大家熟

悉的轉換工具 (Conversion Tools > From Raster > Raster to Polyline) 就能將 Raster 轉成 Shapefile，方可調整線段粗細、顏色或其他向量屬性，如圖 12 所示。

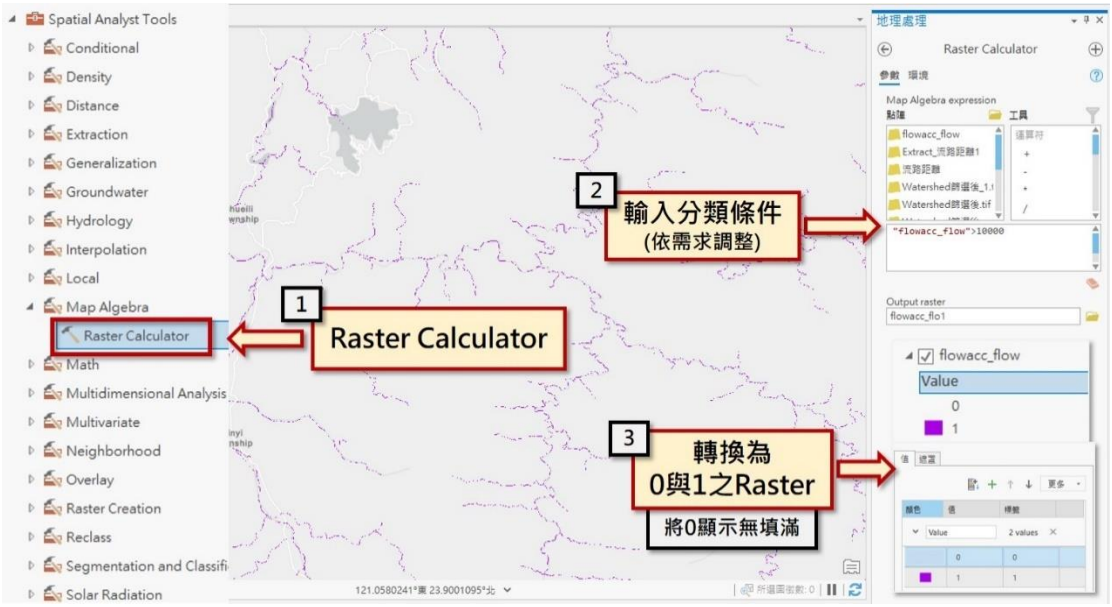


圖 11、Raster Calculator 操作示意圖

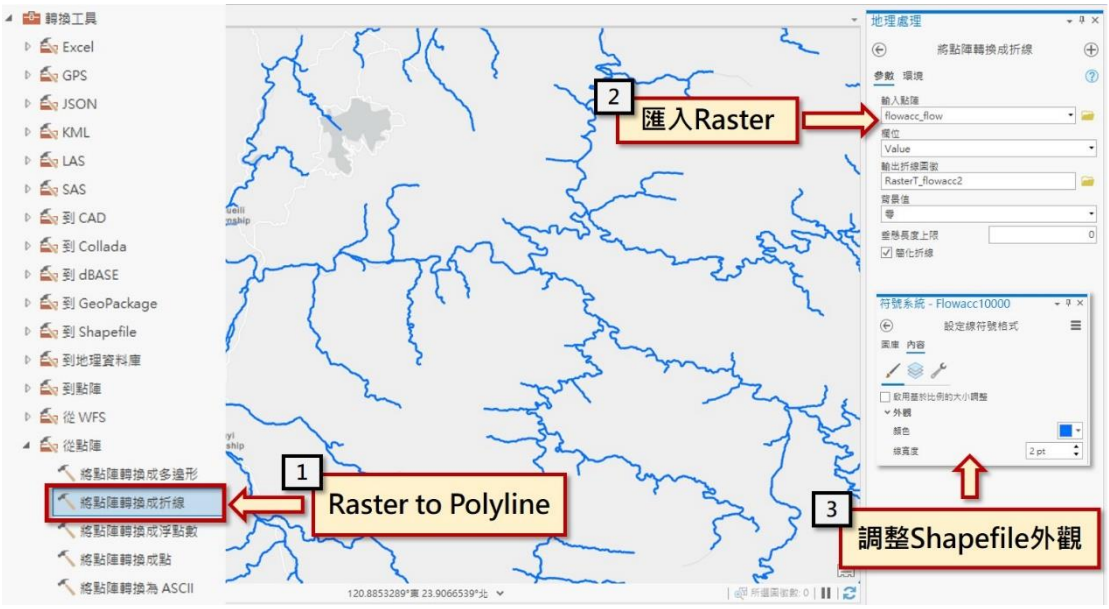


圖 12、Raster 轉成 Shapefile 操作示意圖

使用 QGIS 也能做

除 ArcGIS 外，黃敏郎技師也使用 QGIS GRASS 的水文分析模式,從 DEM 產製水系及集水區，因做法與前文類似，本期電子報將不多做說明，教學如影片及相關網站所示。

使用 QGIS GRASS 的水文分析模式,從 DEM 產製水系及集水區 - 黃敏郎

用 GEE 比對自製全臺水系圖及 HydroSHEDS 水系圖

GEE 平台上目前已內建 HydroSHEDS v1 完整版 (解析度 500 m)，供使用者直接從雲端上加載河川水系資料 (WWF HydroSHEDS Free Flowing Rivers Network v1) 進行操作。同時，為分享前文**利用 ArcGIS 所產製的河川水系圖**與**HydroSHEDS 水系圖**間的差異，我們以 **GEE 展示介面 (full code)** 將二種圖資比對呈現供讀者參考 (圖 13)，藉由左側調整顯示之河川水系圖種類，或右上角直接勾選圖層，分別顯示各圖層差異。然為了使底圖在視覺上能更加直觀以顯示河川周邊的高程變化，本展示介面利用內政部於 2015 年提供之 DEM，以 GEE 之地形相關編碼製作高程陰影圖，再套疊 DEM 高程分布圖，完成圖資之展示介面 (圖 14)。

相較於解析度為 500 m 的 HydroSHEDS 水系圖，以內政部開放資料 20 m DEM 製作的水系圖線型更自然，明顯更符合地形，在後續分析應用上也將更精準。當然，如果今天分析的範圍著眼於整個亞洲甚至是全球，HydroSHEDS 水系圖使用起來自然會更便利。

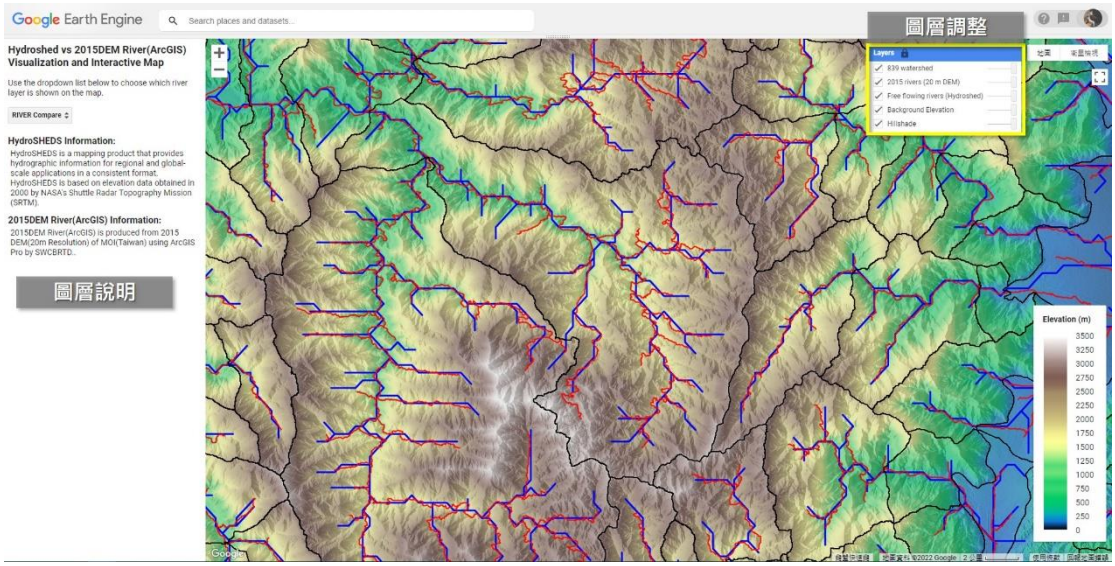


圖 13、GEE 介面操作示意圖

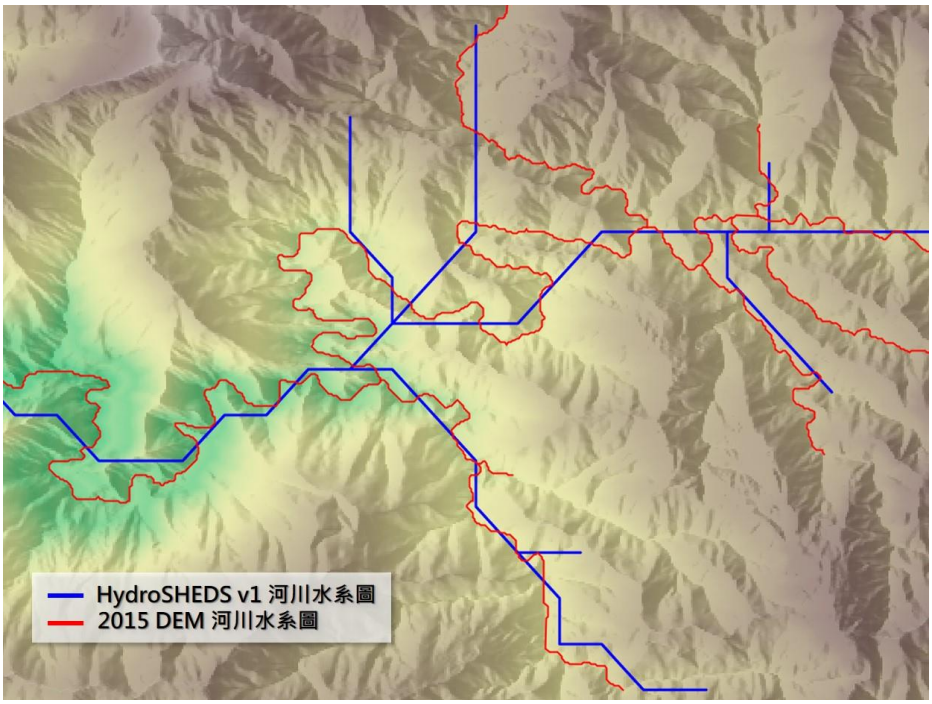


圖 14、GEE 成果展示示意圖

相關網站及應用成果連結

1. **HydroSHEDS**
2. **HydroSHEDS v2**
3. **にゃんこそば🌥データ可視化 (Twitter)**
4. **水系・流域地図とか by @shinagawajp**
5. **QGIS 小學堂 (FB 社團): 介紹各式 QGIS 實用小技巧**
6. **QGIS 建立水系教學**
7. **河川河道 | 政府資料開放平臺 (data.gov.tw)**
8. **Google Earth Engine Code (swcbrtd)**

參考資料

1. HydroSHEDS Technical Documentation
2. An overview of the Hydrology toolset—ArcGIS Pro | Documentation
3. Lehner, B., K. Verdin, and A. Jarvis (2008), New global hydrography derived from spaceborne elevation data, Eos Trans. AGU, 89(10), 93–94.

➢ (十六)日本無人化施工技術的源起與發展現況

由於許多水土保持、水利及邊坡工程經常須於野外環境中進行施作，特別是在汛期或搶災工程時，常面臨不可預知的次生災害，形成對現場施工人員的安全威脅，因此施工安全的課題更需關注。為因應這個議題，日本為此發展無人化施工，利用遠端操控的方式(圖 93)，希望改善危險的施工環境，並在人口老化的大環境下，仍能維持高水準的工程技術。本期電子報將以日本為例，介紹日本無人化施工的發展起源、系統概念，與現階段的技術運用與展望。



圖 93　日本無人化施工的遠端操控方式

日本無人化施工的起源

日本無人化施工源自於 1969 年富山縣暴雨災害事件，洪水導致神津川富山大橋橋墩掏刷裸露，為針對掏刷部分進行回填及搭建便橋，過去僅能依靠潛水員操作水下挖掘機，但其施工安全卻是一大問題。因此，日本在本工程首次使用可遙控的水陸兩用挖掘機(圖 94)，解決了施工人員須親赴危險區域施工的困境。然而，受限於當年的通訊技術，所以操作者無法以挖掘機的視角看到現地影像，僅能在岸上遠處觀察並進行操作。



圖 94　日本首次使用無人化施工的水陸兩用挖掘機

在後續的十幾年間，日本工程界持續針對影像傳輸、遠距操作等系統進行改良與精進，並於 1980 年代奠定了無人化施工的技術基礎，但擁有相關技術的工程單位仍為數不多。

1990 年 11 月 17 日，長崎縣島原半島的雲仙普賢岳發生 198 年來首次火山噴發，並在隔年發生火山碎屑流和土石流等災害(圖 95 及圖 96)，導致 41 人死亡、3 人失蹤、2500 棟建築物損壞，直接和間接損失合計約 2300 億日元。儘管長崎縣政府積極針對火山災害進行治理工程，但不斷重複發生的火山碎屑流和土石流對於現場的施工人員來說十分危險，技術上亦充滿困難，相關工作陷入了困境。



圖 95　雲仙普賢岳當時發生火山碎屑流與土石流狀況



圖 96　被火山碎屑流與土石流淹沒的小學與住宅

為此，1993 年 4 月日本中央政府決定成立雲仙復興工事事務所，直接由中央政府直轄的工程單位接手火山防砂工程，並積極推動無人化施工。過去日本針對無人化施工僅停留在試驗階段，雲仙復興工事事務所是第一個以「無人化施工」

技術為標的，進行公開招標的日本官方單位。

經過 34 間營造公司的競標，最後有 6 家脫穎而出，技術上可達到所有施工機械在安全地點進行遠端操作(圖 97)，並符合本案要求的施工技術水準(表 3)。自此，無人化施工才普及於日本工程界，成為大型災害且施工環境惡劣下的必要施工技術，因此雲仙普賢岳也被稱為「無人化施工發源地」(圖 98)。



圖 97　雲仙普賢岳火山災害之施工機械與遠端操控設備

表 3　雲仙普賢岳火山災害無人化施工要求水準

技術內容	技術水準
挖掘與搬運不均勻狀態的破碎岩體能力	破碎直徑 2-3 公尺的礫石
現地溫度、濕度應對能力	溫度 100 度、濕度 100%條件下，施工機械可以正常運轉
施工機械遙控能力	操作距離 100 公尺以上



圖 98　雲仙普賢岳被稱為「無人化施工發源地」

無人化施工的系統概念

無人化施工在雲仙普賢岳治理得到豐富的技術經驗後，日本面對高風險的大規模土砂災害經常受此啟發與延續應用，施工經驗逐步穩健與發展。現階段無人化施工系統，主要由在安全位置操作的遙控室和配有攝影鏡頭及無線傳輸的遙控施工機械所組成(圖 99)，並根據現地需要，增加移動攝影車、超遠程無線中繼車，完成無人化搬運、挖掘、破碎、施工等工程步驟。

此外，隨著科技發展，目前最新訊號傳輸概念構築在以 25GHz 頻段無線網路技術上為主，相較過去以監視系統為媒介僅能在 300 公尺距離內遙控操作機械，目前無線網路技術的遙控操作機械距離可達 600 公尺以上，再藉由中繼站及 5G 等高效能低延遲的傳輸技術，遠端操作遙控器距離更可達 10 公里以上，技術實用化上形成顯著的突破。近期更結合最新 UAV 和 3D 數據等技術，發展 i-Construction(智慧型營建) 概念，持續優化現場施工環境與水準。(註：有關 i-

Construction 之發展與應用可參考 2018/04/10 水土保持局 Seminar「i-Construction 營建現場的生產力革命」的相關文獻導讀。)



圖 99　無人化施工機械內裝與無線傳輸系統

無人化施工實作案例與展望

截至 2017 年止，日本已完成 197 件以無人化施工的案例，從基礎的土石採取工程、典型的野溪治理工程與邊坡穩定工程(圖 100)，到近年新設計的透過式防砂壩工法(圖 101)、CSG 工法(土砂就地取材工法)，未來更預計應用無人化施工代替人類前往月球建設居住基地 (圖 102)，為人類宇宙開發史畫下嶄新的一頁。

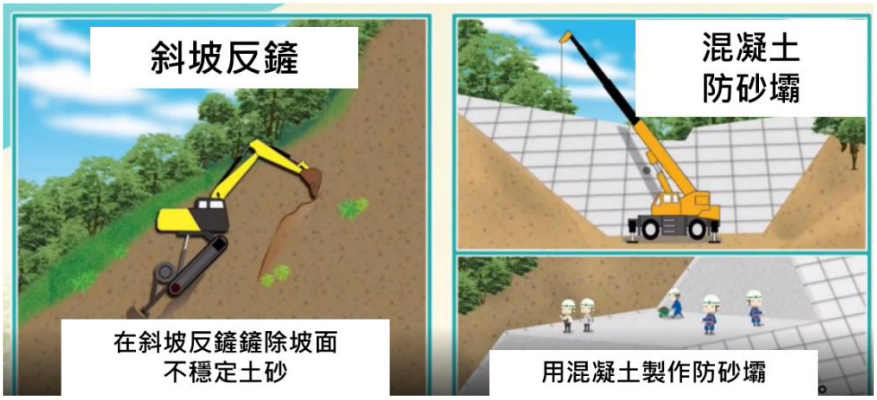


圖 100 無人化施工應用於野溪治理工程與邊坡穩定工程-旭建設株式會社

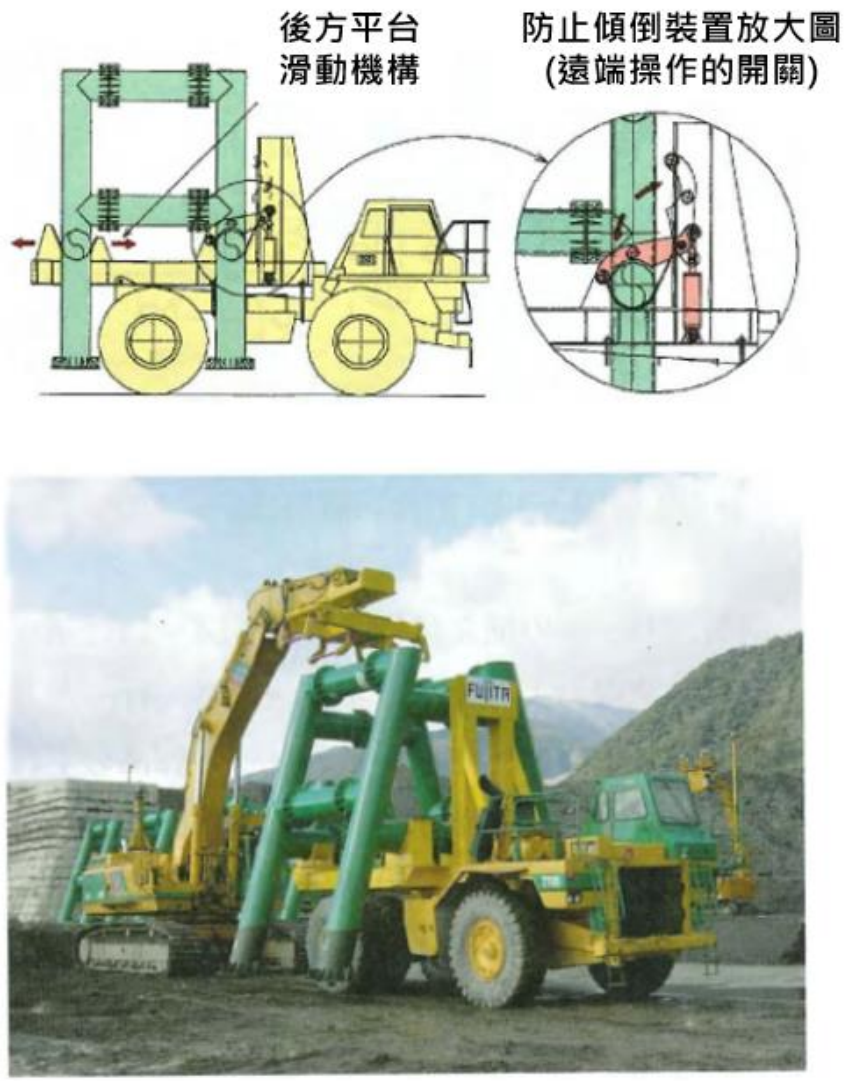


圖 101 無人化施工應用於透過式防砂壩工法

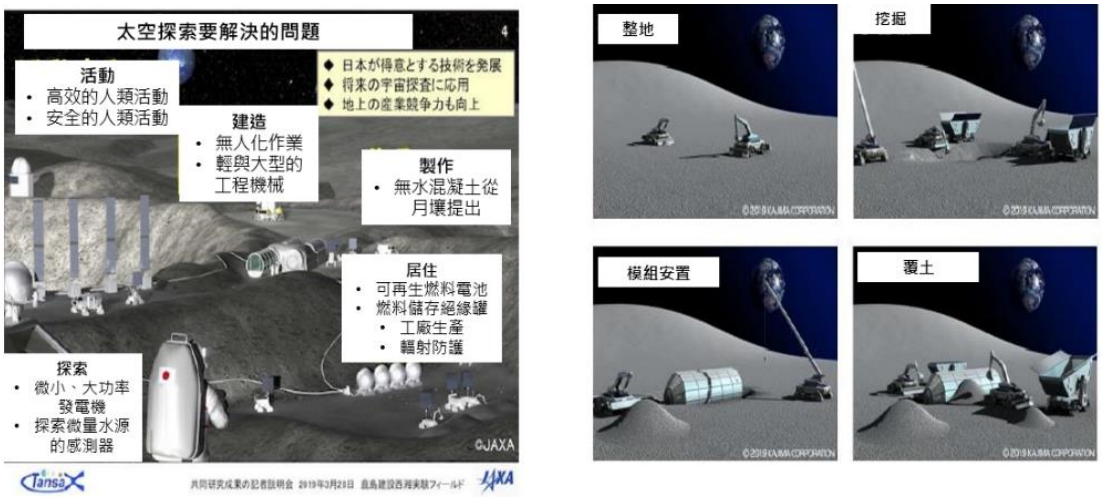


圖 102 無人化施工應用於 2025 年月球再登陸計畫-阿提米絲計畫，協助人類在月球進行建設

➢ (十七)如何將 CAD 檔轉成 GIS 格式實作示範

電腦輔助設計（Computer Aided Design, CAD）在近代測量與工程應用上，一直是設計及施工所需之重要工具。隨著資訊系統的普及與數位科技的高速發展，許多領域也演化出獨有的資料整合技術，例如結合地理學與圖學應用的地理資訊系統（Geographic Information System，GIS），以及應用於克服施工介面整合、工期規劃的建築資訊模型（Building Information Modeling，BIM）等。儘管 CAD 及 GIS 均已屬於成熟技術，但在跨領域應用時，彼此格式間的轉換及空間定位等問題，還是常困擾許多工程師。以市佔率最高的 AutoCAD 為例，目前尚未提供直接將 CAD 檔(如 DWG)格式轉換為 SHP 格式的功能。

本期電子報將分享如何使用開源的 QGIS 軟體(如圖 1)，以政府開放資料為例進行示範，將 CAD 檔轉換為 GIS 格式(SHP 及 KML)！

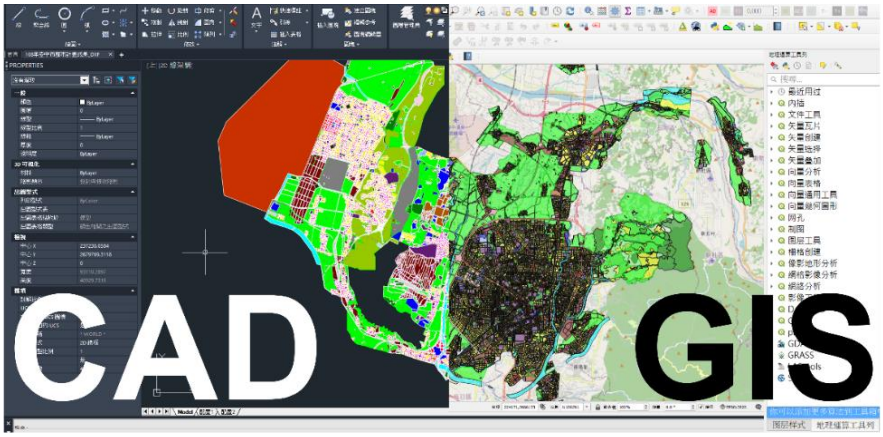


圖 1、CAD 與 GIS 交換應用，以臺中市 CAD 開放資料為例。

QGIS 其實也能匯入 CAD 檔

開源地理資訊系統 QGIS 在格式轉換上，藉由技術社群的協助，不僅有面向大眾的開源優點，其本身也內建了支援 DWG 與 DXF 格式的匯入功能(如圖 2)。此外，除了內建的匯入功能外，藉由外掛的操作，也能對匯入細節做更多調整。

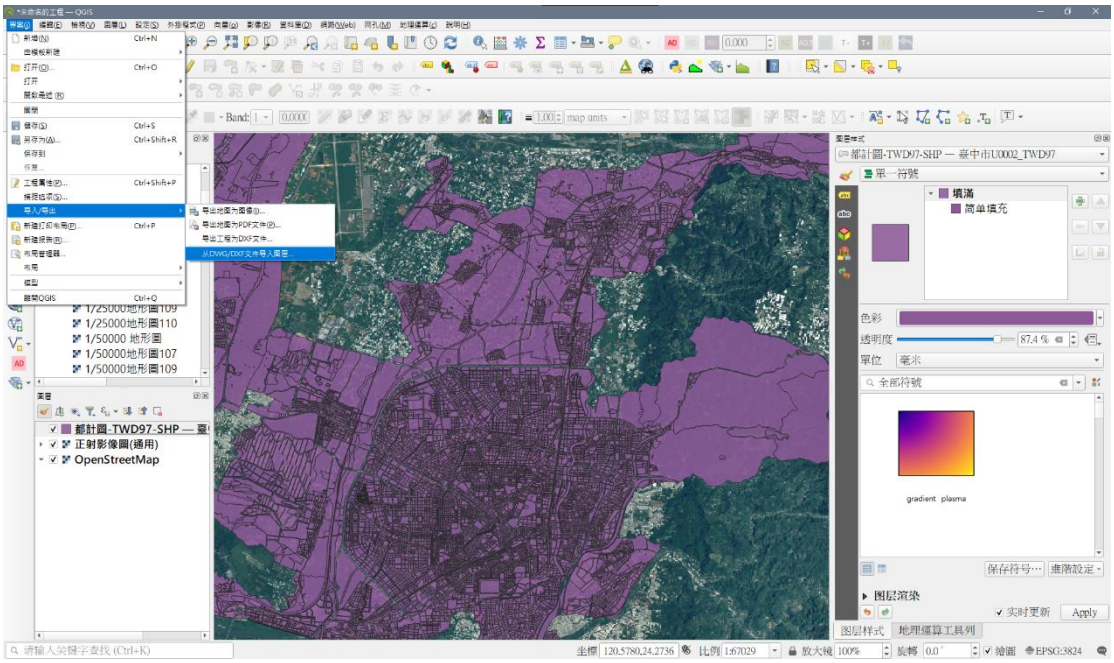


圖 2、QGIS 內建 DWG、DXF 匯入功能

臺中市政府近年持續響應開放資料政策，數化與開放了許多 CAD 與 GIS 相關的開放資料，我們先以 2019 年上架的「臺中市都市計畫圖(CAD)」來做操作案例(如圖 3)，並使用 CAD 軟體進行檔案檢查(在此以 ProgeCAD 示範)。

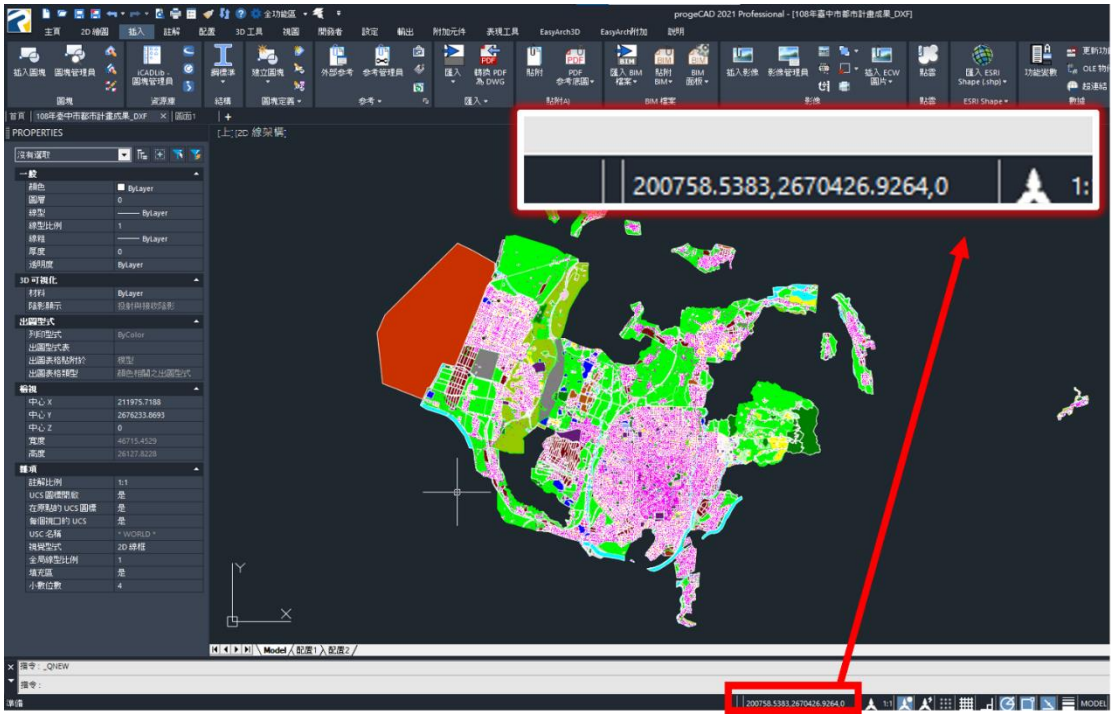


圖 3、開放資料：臺中市都市計畫圖(CAD)。來源：

https://data.gov.tw/dataset/107551

為使 CAD 檔案能順利轉換成 GIS 格式，須先設定圖檔左下的 XY 原點坐標，以及單位(設定為公尺)。以範例檔案來說，引入測量成果與處理後，可以看到開啟的 DWG 檔案，滑鼠十字標停留點(如圖 3 所示)符合 TWD97 二度分帶 TM2 的坐標系統，因此這個原始檔案便能夠匯入與對應 GIS 坐標。由於 DWG 本身為 AutoCAD 專用格式，可能在某些軟體上會有限制，因此 Autodesk 公司開發了 DXF（Drawing Interchange Format 或者 Drawing Exchange Format）以提高其相容性(如圖 4)。

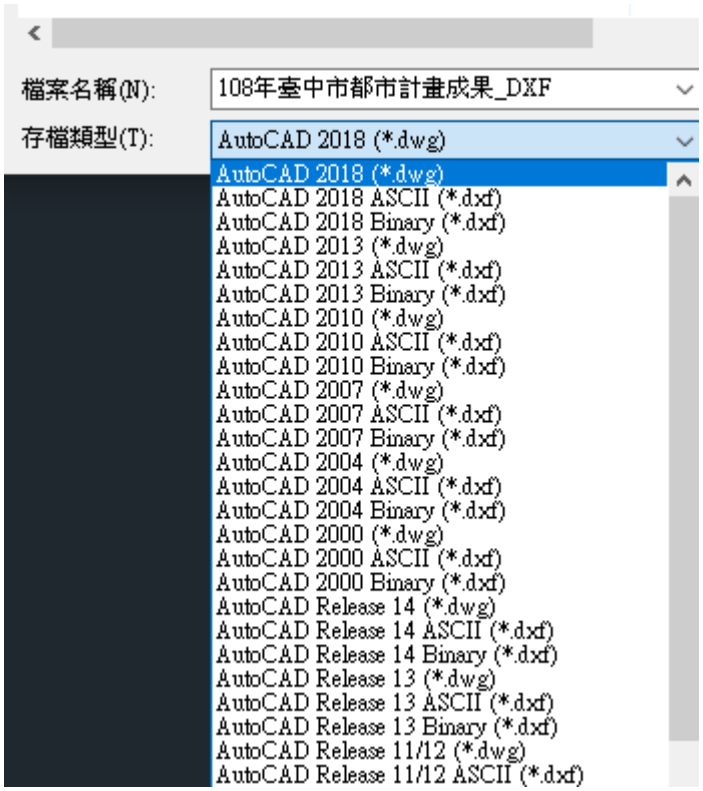


圖 4、CAD 儲存格式選用

1.1 使用 QGIS 內建導入 CAD 檔功能

由 QGIS 功能列「Project > Import/Export > Import layers from DWG/DFX」匯入 CAD 檔(DWG/DXF) (如圖 5~圖 7)。

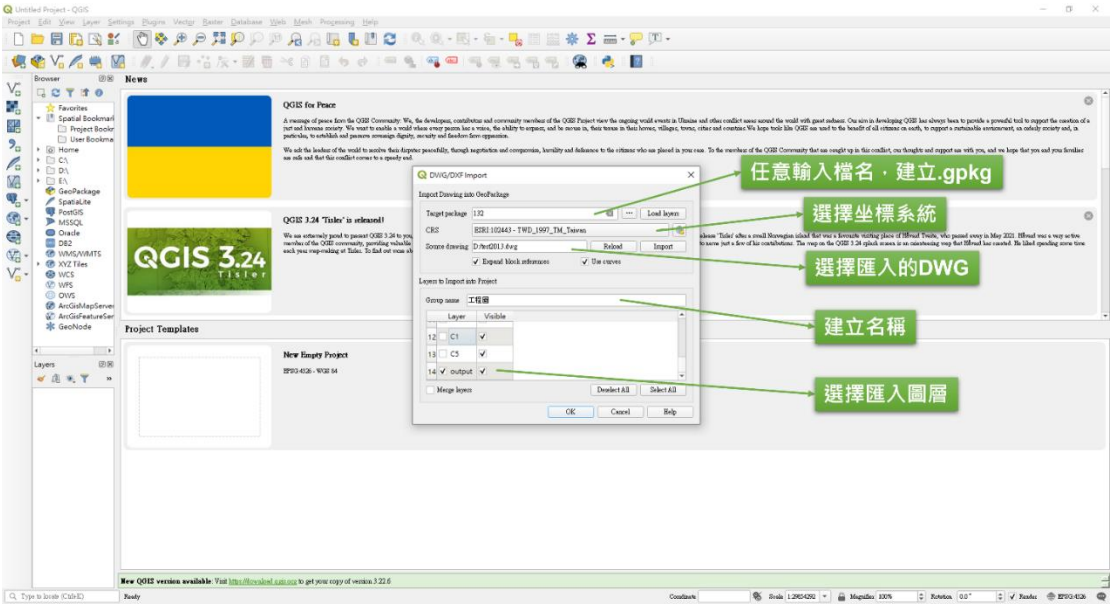


圖 5、QGIS 內建導入 CAD 檔功能-Step1：設定參數



圖 6、QGIS 內建導入 CAD 檔功能-Step2：讀取元素、圖塊等物件，進行融合

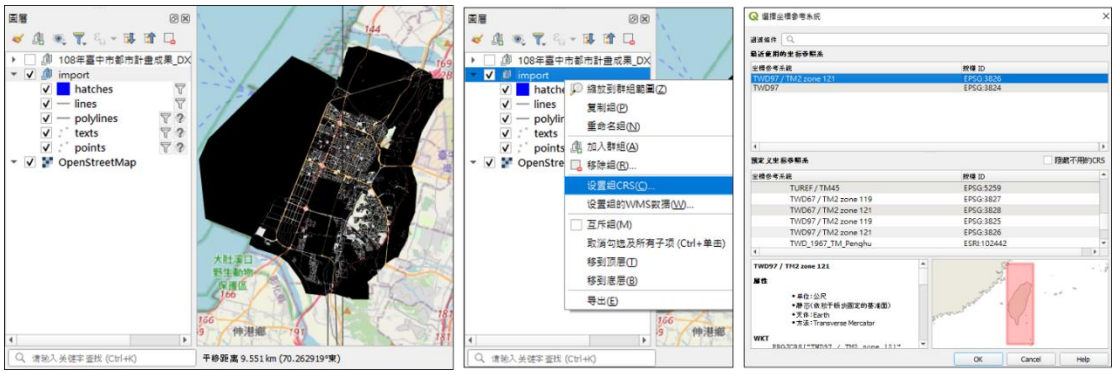


圖 7、QGIS 內建導入 CAD 檔功能-Step3：讀取 DWG，設定群組坐標系統

從步驟 3 可看到，如以 DWG 格式讀入時，部分圖塊會產生異常，即使設定了坐標系統，依舊會有些小問題。因此我們嘗試改用相容性較高的 DXF 格式來試看看(如圖 8)，結果發現相對於 DWG 格式，DXF 格式匯入的效果確實較佳，也能夠保留色彩圖徵。

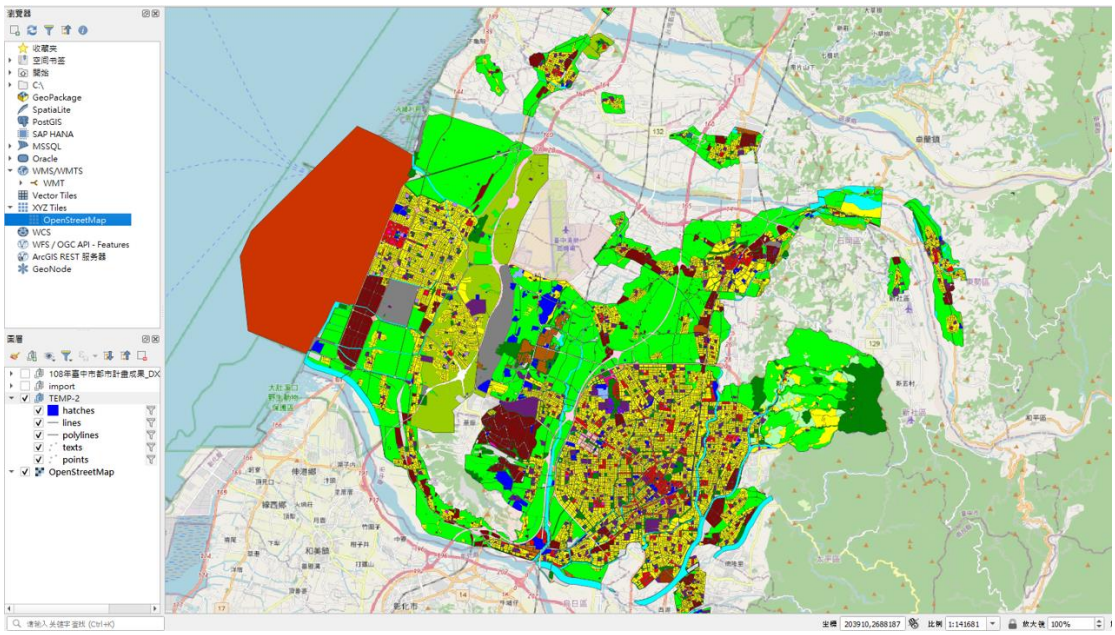


圖 8、QGIS 內建導入 CAD 檔功能-Step4：同樣步驟，使用 DFX 格式匯入之效果較佳

1.2 使用 QGIS 外掛導入 CAD 檔功能

QGIS 除了內建的匯入 DWG/DXF 功能外，也能使用 DXF 專用外掛進行匯入。首先可從外掛程式>管理並安裝插件>輸入 DXF，找到我們要增加的外掛(如

圖 9)。安裝完成後，可從向量檔案>DXFImporter，開啟 DXF 匯入功能(如圖 10)。結果發現，使用外掛功能時，雖可保留較多圖層設定，但中文編碼問題尚待克服(如圖 11)。

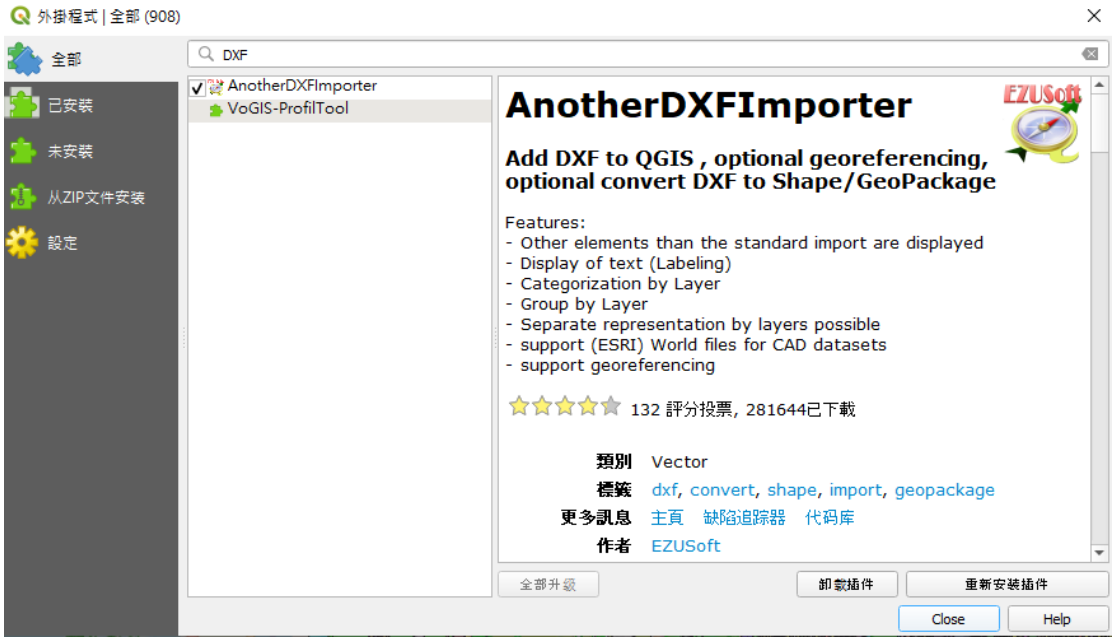


圖 9、QGIS 外掛導入 DXF 檔功能-Step1：安裝外掛

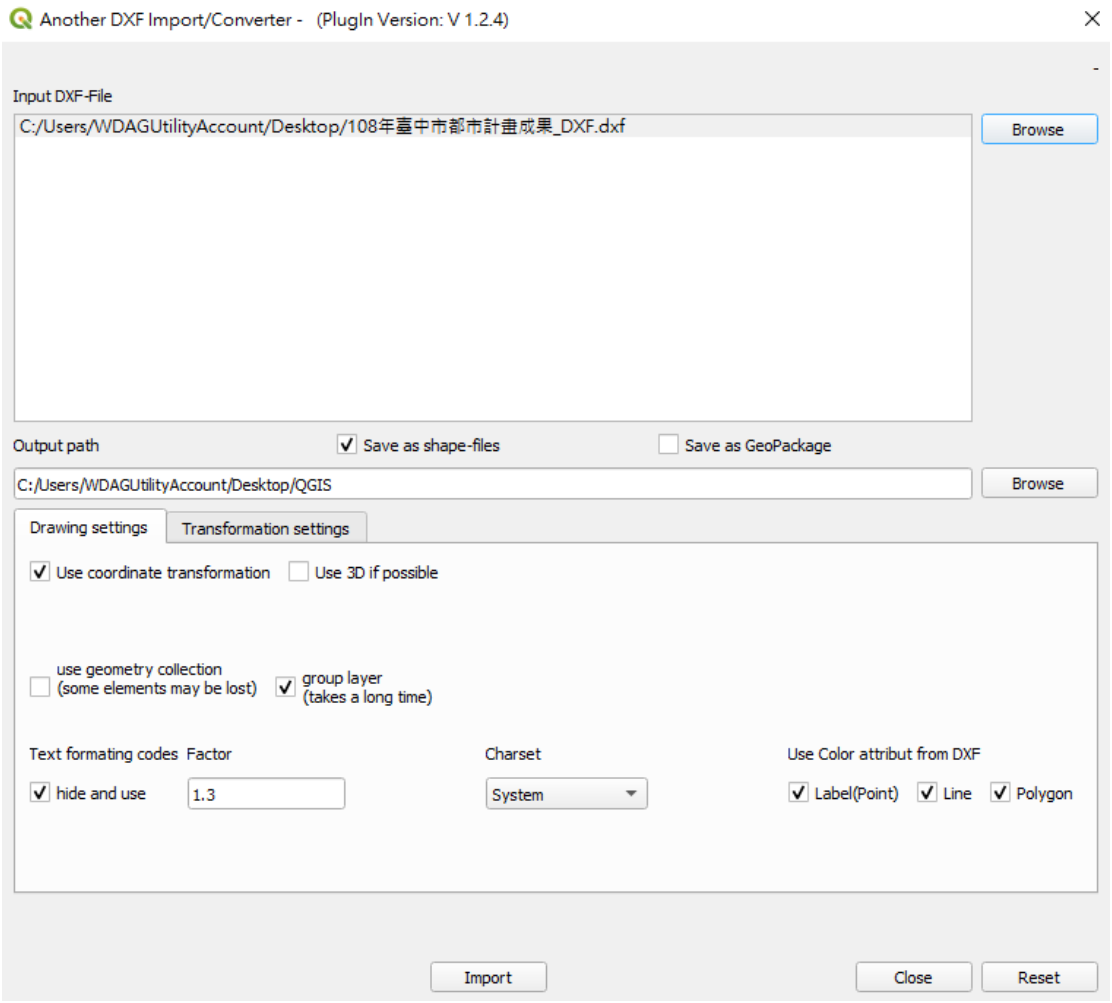


圖 10、QGIS 外掛導入 DXF 檔功能-Step2：選擇導入參數與暫存檔位置

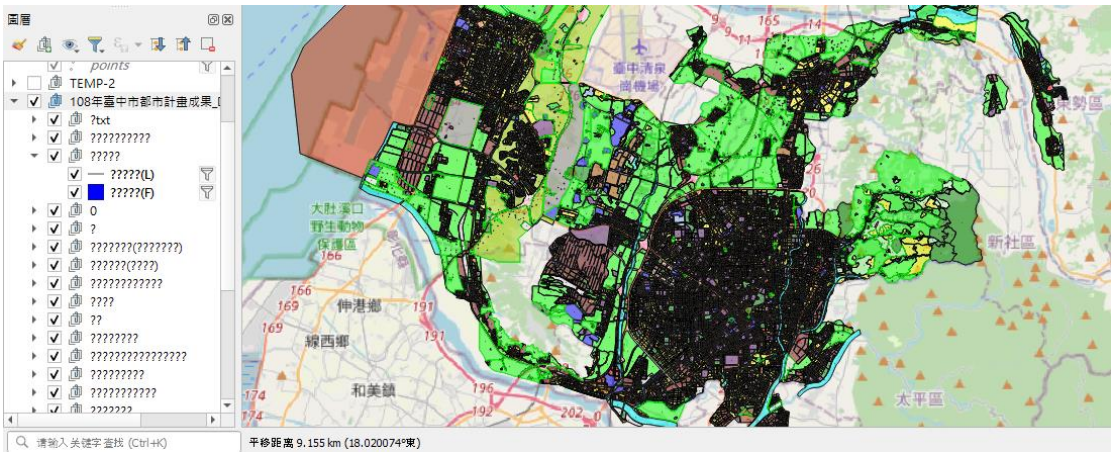


圖 11、QGIS 外掛導入 DXF 檔功能-Step3：導入完成，但中文編碼問題尚待克服

另一種更親民的 GIS 格式－KML/KMZ

對於一般民眾而言，SHP 格式往往並不親民，也不方便在手機上使用。因此，有時改用多數人可在 Google Map 及 Google Earth 上操作的 KML 與 KMZ 格式，可能是更好的選擇。

2.1 以 QGIS 將 SHP 匯出為 KML 格式

如圖 12，我們可在 QGIS 已開啟的 SHP 圖資上按滑鼠右鍵選單之導出功能，將 SHP 另存為 KML 格式，並在 Google Earth 上開啟(如圖 13)。，

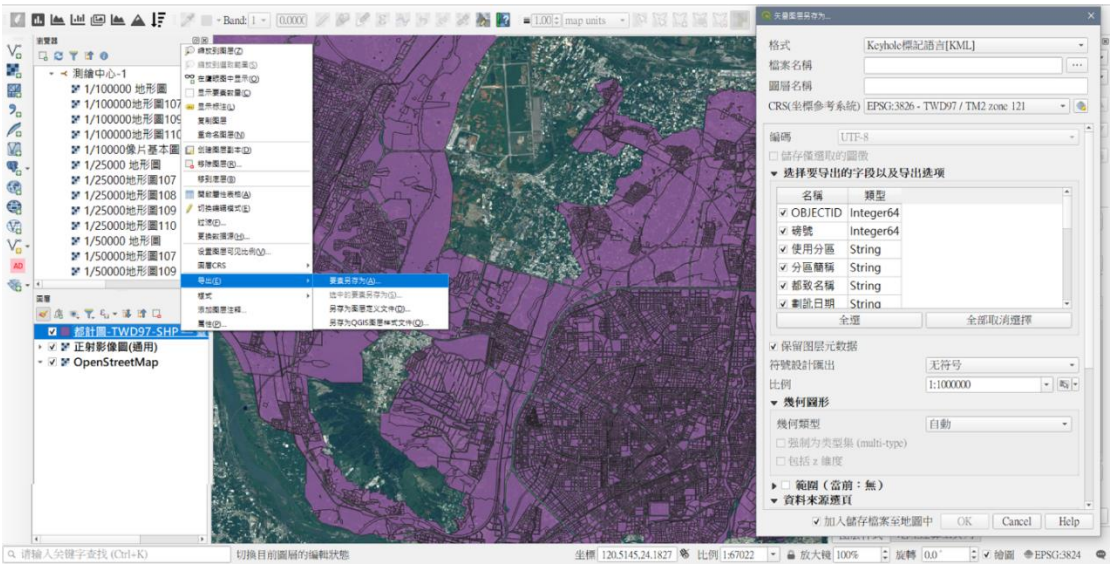


圖 12、QGIS 輸出 KML-Step1：對轉換好的 SHP 資料使用，點選右鍵>導出，選擇 KML 格式

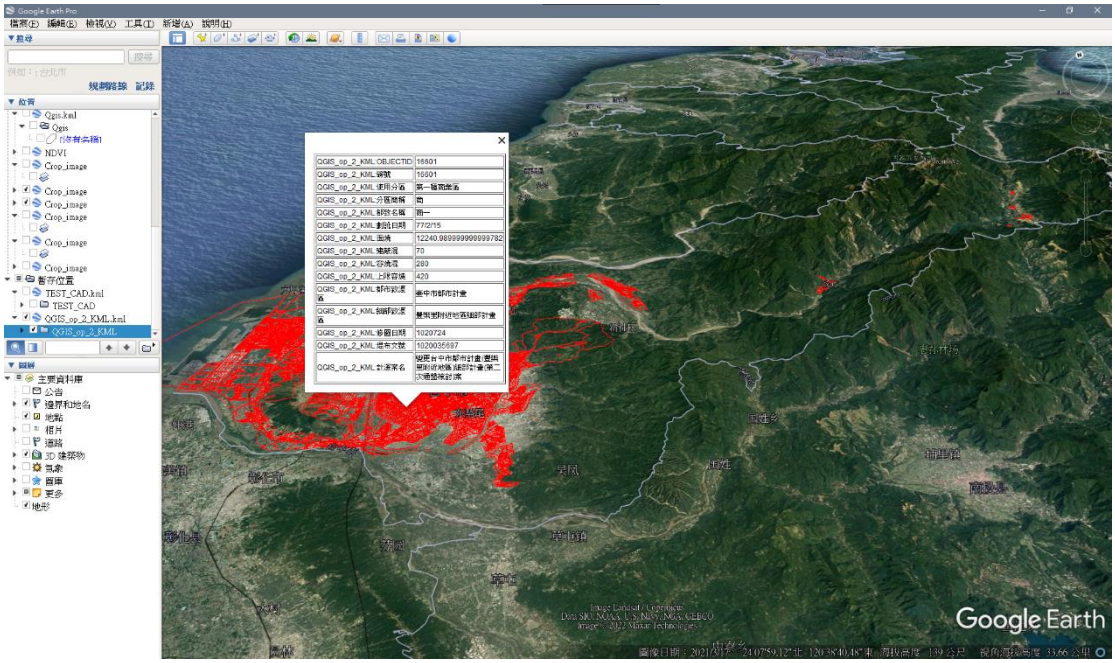


圖 13、QGIS 輸出 KML-Step2：使用 GoogleEarth 開啟剛剛匯出的 KML 效果

2.2 將工程圖掃描檔(JPG)於空間對位後輸出成 KMZ 格式

有時，我們取得的工程圖可能只有紙本，但仍想將之對應在正確的空間位置上。這時，建議可使用 Google Earth 的「圖像疊加層」功能(圖 14)，以人工對位方式，透過縮放、平移、旋轉等操作(圖 15)，將該圖片正確地放置在地圖上(圖 16)，並按滑鼠右鍵將之另存為 KMZ 檔(圖 17)。此時，這個 KMZ 檔即已包含了圖檔及其空間位置紀錄，不論在手機(需先安裝 Google Earth APP)或是電腦，下次只要開啟這個 KMZ 檔，Google Earth 即會自動載入該圖檔並定位至正確位置，非常方便。

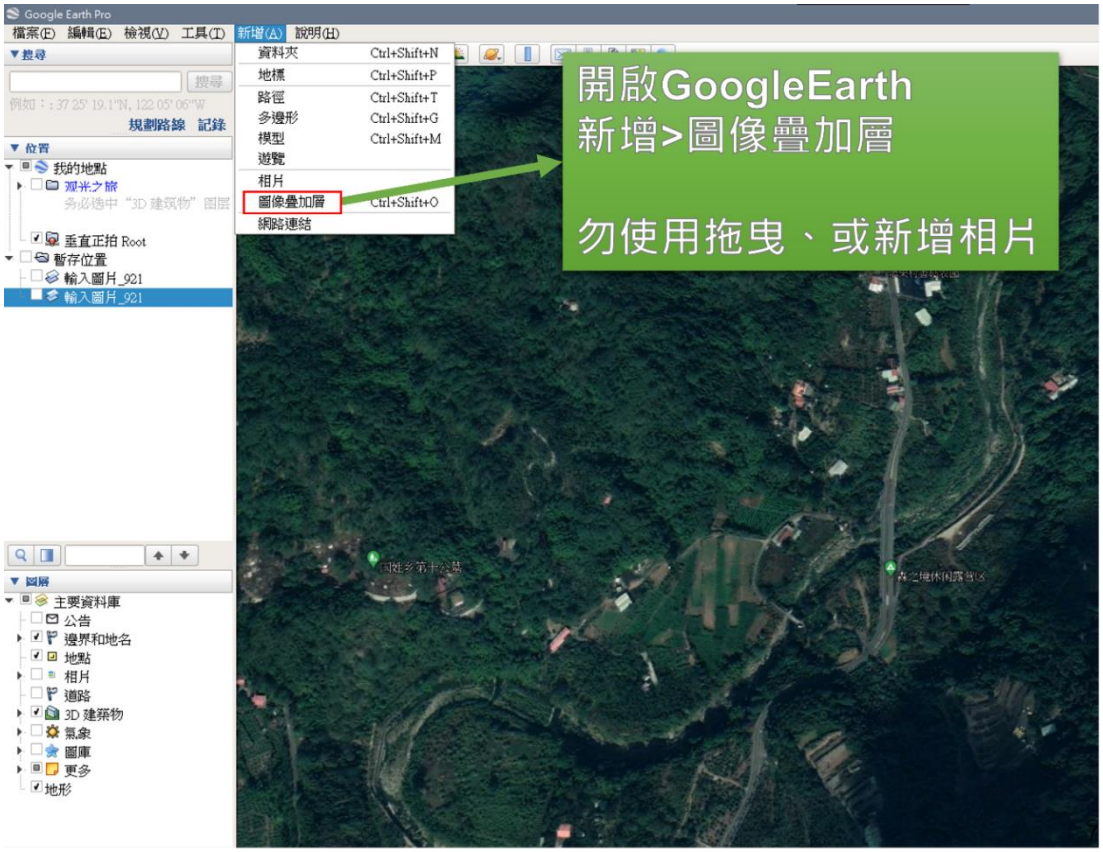


圖 14、GoogleEarth 圖片對位輸出 KMZ-Step1：開啟圖像疊加層功能

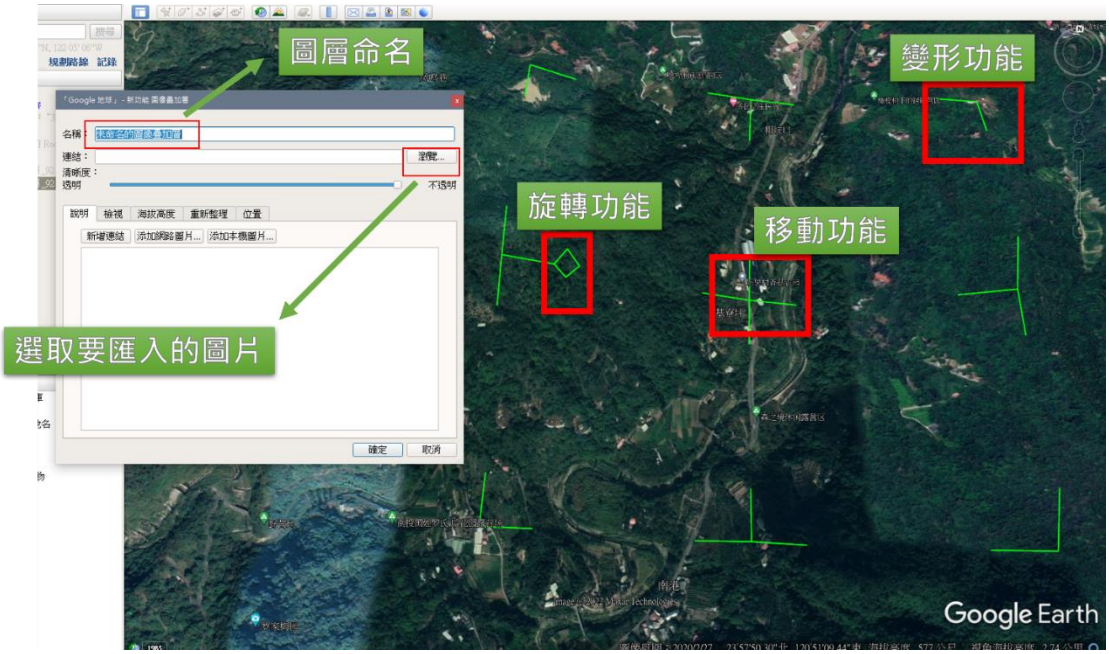


圖 15、GoogleEarth 圖片對位輸出 KMZ-Step2：選取要匯入的圖片

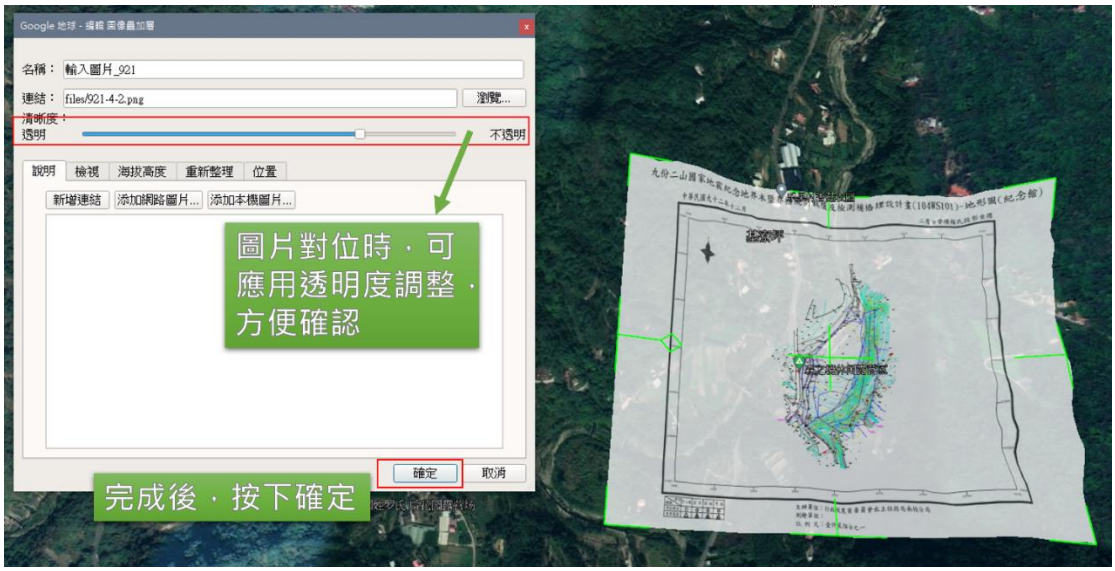


圖 16、GoogleEarth 圖片對位輸出 KMZ-Step3：預覽套繪效果

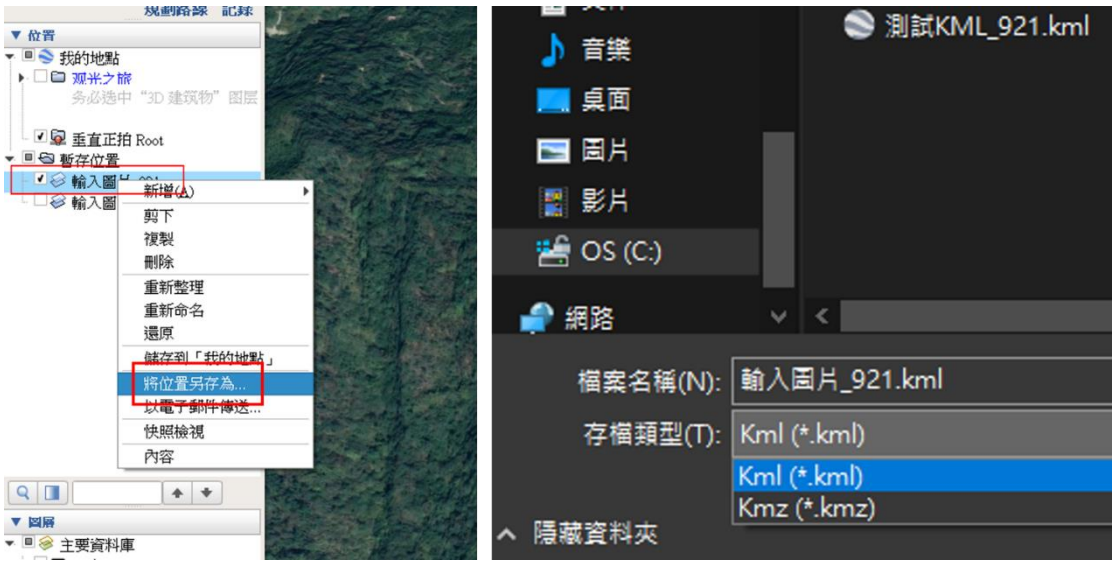


圖 17、GoogleEarth 圖片對位輸出 KMZ-Step4：使用另存新檔>kmz

資料在我們生活周遭無所不在，只是它們往往因不同業務或軟體技術，而有著不同的面貌，當我們能活用開源與共通格式，將格式不同卻又彼此關聯的資料結合後，便能發掘當中蘊藏的許多可能性。

國際之間與專業領域中，資料轉換與流通一直是個關鍵議題，如 Speckle plugin 影片所述，又或者在 GIS 領域中，如何應用商業軟體 ArcGIS 與其他軟體進行串聯，取不同軟體之優點，也都在持續發展中。開放資料主題遍及生活周遭，

或許用感興趣的關鍵字，搜尋看看開放資料集，試著轉換與套疊，或許會有意料之外的發現，一起來嘗試吧。

相關連結

1. 108 臺中市都市計畫圖(CAD)｜政府資料開放平臺

https://data.gov.tw/dataset/107551

2. 臺中市 102 年都市計畫圖(GIS)_TWD97：

https://data.gov.tw/dataset/156466

3. GoogleEarthPro：

https://www.google.com/intl/zh-TW/earth/versions/

4. QGIS 外掛 DXF 轉換器：

https://gis.makobo.de/en_qgis-dxfimport-dxf2shape/

5. AUTOCAD MAP 3D：

https://www.autodesk.com.cn/products/autocad/included-toolsets/autocad-map-3d

➢ (十八)連結元宇宙及真實世界場景的創建工具－攝影測量的現況與未來

「元宇宙(Metaverse)」一詞來自於美國科幻小說家尼爾史蒂文森 （Neal Stephenson）1992 年出版的第三本小說-《潰雪》，如今最近又再度引發話題。儘管元宇宙描繪的虛擬世界對許多人而言尚非觸手可及，但各大公司對這方面的開發卻不從曾停止。像是將 Facebook 改名為 Meta 的臉書創辦人祖克伯多次表示他對元宇宙的支持，雖然他在自家開發的 VR 遊戲裡的自拍(圖 103)，因過於簡約的造型及場景引發不少議論，讓人覺得元宇宙的開發似乎不如預期，但仍能可看出他對這項領域的熱忱。事實上，創建虛擬世界場景的方式，早已有許多成熟的技術，本期電子報將介紹目前應用最廣的攝影測量在這方面的發展現況與未來趨

勢。



圖 103 祖克伯在自家開發的 Horizon Worlds 的自拍

真實世界與虛擬世界融合及互動三個技術－VR、AR、MR

VR、AR、MR 這三個詞往往常常聽到，但許多人卻未必十分了解，其中 VR(Vrtual Reality，虛擬實境) 發展較早，許多 3D 遊戲早已導入這項技術，透過 VR 眼鏡(如 HTC vive、Meta Oculus、Quest 等)將電腦運算出的虛擬人物、景象等投射於人們眼前，但受限於硬體及配載時之不適感，沉浸感還是會受到影響。AR (Augmented Reality，擴充實境)，則是指透過攝影機影像的位置及角度精算並加上圖像分析技術，讓螢幕上的虛擬世界能夠與現實世界場景進行結合與互動的技術。像是幾年前紅透世界的 Pokémon GO 就是利用這項技術的一個例子。 MR（Merged Reality，混合實境） 是 VR 與 AR 的結合，可以讓使用者在虛擬世界與現實世界交互體驗，可以同時在虛擬是世界的同時，感知現實世界(如圖 104)。

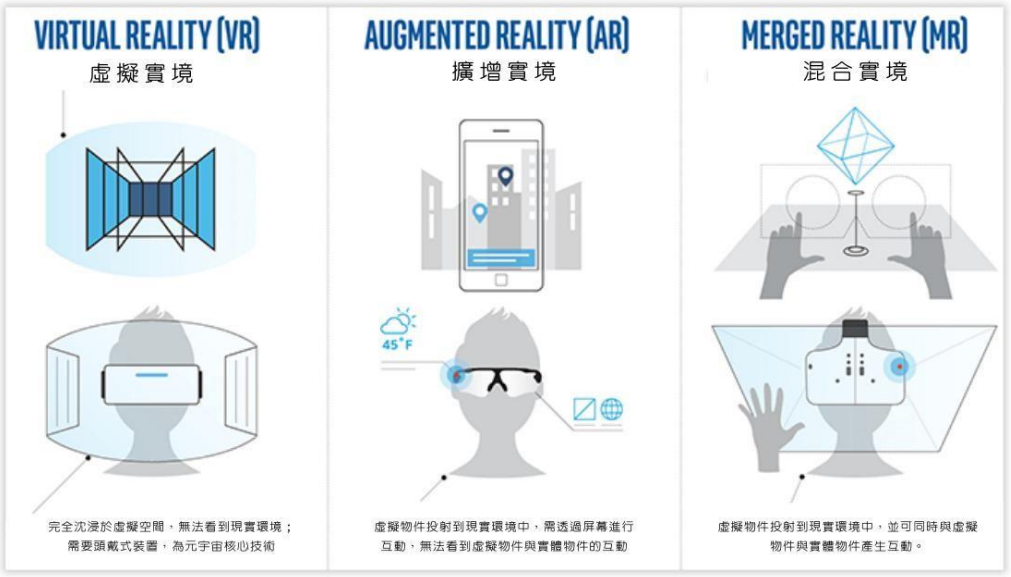


圖 104 VR AR MR 比較

您也可以成為虛擬世界的創世神

建立虛擬世界的方式有很多種，主流有 Unreal Engine 跟 Unity 兩大遊戲引擎，可以建構許多交互的體驗，讓使用者與虛擬世界的物品互動，不過由於涉及到許多設計物件運作的流程，背後是許多的程式碼在控制，對新手來說並不容易，但如果只是要建立模型，不考慮交互作用的話，這方面的軟體也不少，主要有 Blender、SketchUp 等(圖 105)。

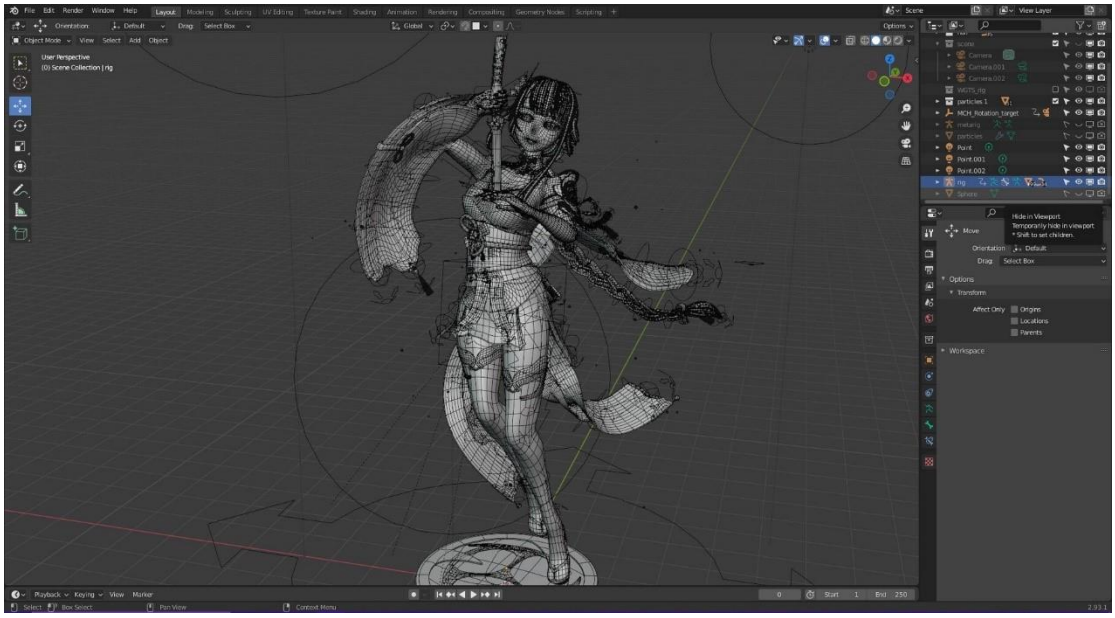


圖 105 blender 建模介面

在虛擬世界中打造與真實世界對應的場景

除了透過軟體一步步建立起模型外，我們也可利用影像將現實世界的物品建立在虛擬世界中，其中的原理涉及電腦視覺，影像重建等。影像重建的過程主要包含以下步驟：特徵點萃取與匹配、運動結構重建(SfM,structure from motion)、多視角立體視覺(MVS,multi view stereo)。 首先，對要重建的物品用不同角度拍攝，利用 SIFT，或 SURF 演算法，將畫面的特徵點找出，由於不同照片會拍到相同特徵點，便可利用匹配到相同特徵點的相片推估相機的拍攝角度進而建立疏點雲(Sparse Point Cloud)，此步驟即為運動結構重建(SfM,圖 106)，接著，利用重建的相機姿態，將相片的像素點利用重建的相機姿態進行多視角重投影(圖 106, multi view stereo)，並交會成密集點雲(Dense Point Cloud)。

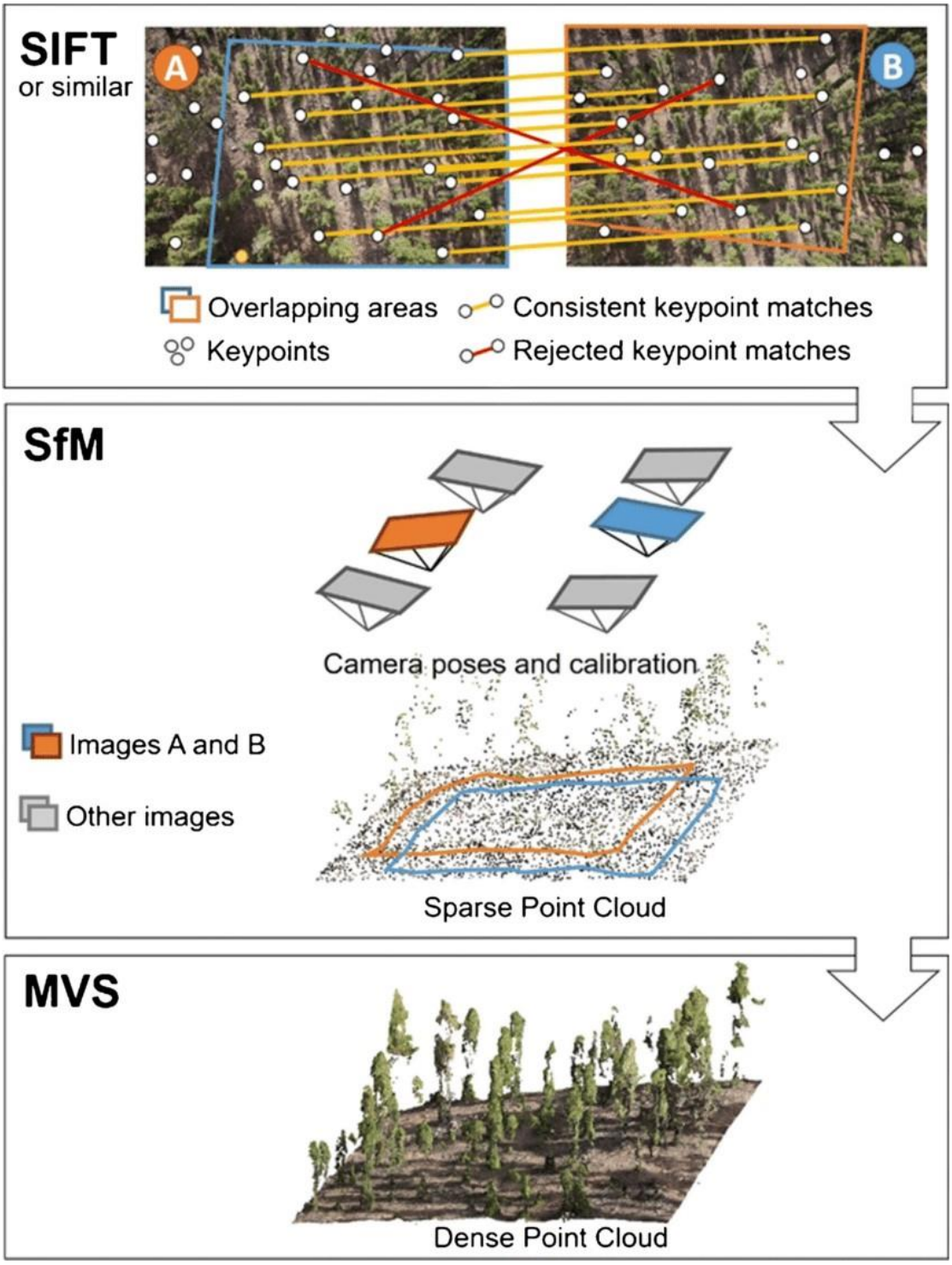


圖 106 SFM&MVS 示意圖

完美且快速重現真實場景的技術－攝影測量

重建完成的模型如果能對應真實世界的尺度，就可以透過對虛擬模型的加值應用來評估，測量等應用，即是所謂攝影測量(photogrammetry)。由於經過影像重建完成的模型係透過二維影像還原的緣故，模型無法還原真實尺度大小，這類型

的問題可透過具有地理坐標位置的影像修正，大幅提升模型的精度。其中，市面上已有許多商業軟體如 Agisoft Metashape, Blently ContextCapture, Drone2Map 等，都能透過無人飛行載具的影像將地理資訊完美整合，並建立高精度的數值地表模型(DSM)，並廣泛應用於工程規劃、土地管理、災害潛勢評估與勘查等。

傳統攝影測量面臨的挑戰

由於攝影測量在影像重建過程需要對許多像素計算三維位置並產出密集點雲，重建出的模型精細程度也會隨著輸入的影像的解析度，影像張數呈現正相關，輸入的解析度越大張數越多模型能更清楚，隨之而來的便是龐大的計算量，如果場景範圍較大，以一般 CPU 計算時間可能需要數小時，為求精細可能會需要更多的時間，如圖 107。

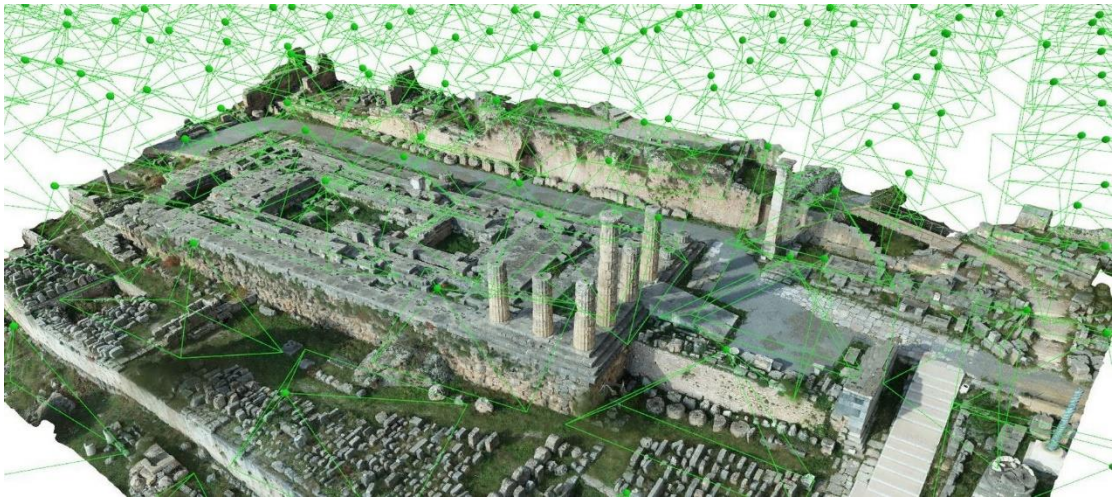


圖 107 古蹟重建的模型圖，綠色框為相機的視角

攝影測量的新趨勢－未來的建模工具:Instant NeRF

知名顯示卡製造商 NVIDIA 改進過去由加州大學柏克萊分校、Google 研究院與加州大學聖地牙哥分校研究人員在 2020 年提出的 Instant NeRF 運算模式，可以透過短短幾張照片，迅速的重建出模型。其背後的原理，主要是透過深度學習的類神經網路去推估光線的位置以加速運算，目前初步展示的成果相當驚人，期待未來在此技術的協助下，能加速元宇宙所描繪的美好遠景

可以提早到來。

➢ (十九)遙測及資料視覺化如何協助森林野火防救災－以 111 年加州 McKinney 大火為例

111 年夏季受氣候變遷及反聖嬰現象影響，世界各地開始接連發生如 IPCC AR6 中所提及的洪澇災害、乾旱與熱浪襲擊。此些氣候異常亦使得高緯度地區多處湖泊及河川乾涸見底，如向來以抗洪治水而知名的低地國荷蘭，其缺水因應小組 (Managementteam Watertekorten, MTW) 在今年 8 月記錄到歷史最低水位，並於 8 月 3 日發布國家節水政策，正式進入缺水階段。美國加州與歐洲部分森林在如此乾熱環境下，燃起燎原之火，使原本應生機盎然的森林成為生物們的煉獄 (圖 108)。

森林火災不但直接造成生態的浩劫，火災後由於地表裸露，如遇大雨不但可能直接引發土石流等災情，也可能造成河川洪峰流量暴增。本期電子報將以 111 年的加州野火災情為例，分享國外如何透過視覺化圖表呈現相關資訊，Google 工程師們如何以 GEE 龐大的遙測資料及雲端運算能力協助評估災情，同時亦將示範使用 BigGIS 來偵測台灣森林火災的案例。



圖 108 McKinney and Yeti Fires – August 5, 2022 (Jamie Allen)

氣候變遷間接影響森林野火規模

美國國家第四次評估報告 (National Climate Assessment, NCA4) 指出，每升高 1 攝氏度將使森林野火燃燒面積的中位數增加 6 倍，而在近 30 年的統計圖 (圖 109) 也顯示，隨氣候變遷影響的極端乾旱及極端高溫，將顯著地加劇森林火災之發生頻率及災害規模。報告亦指出森林野火雖有超過 80%是人為活動所引起，但環境的高溫條件幫助火災蔓延並使其更難撲滅。

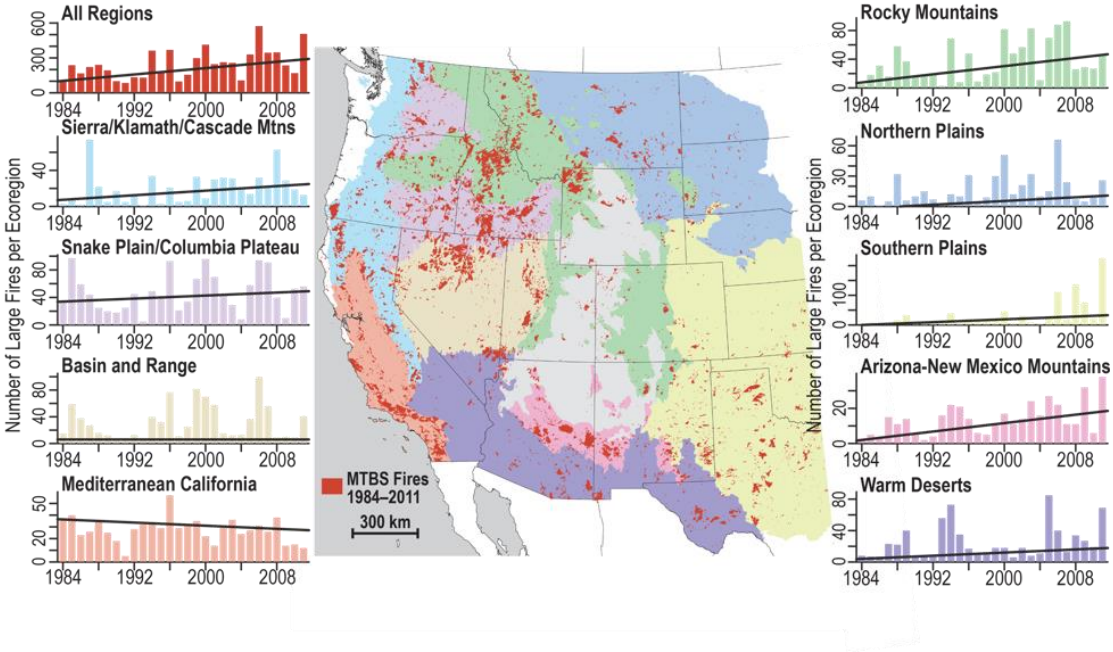


圖 109 美國西岸野火數量的增長趨勢圖 (Dennison et al (NCA4))

美國環保署 (EPA) 於其官網上發布 7 組野火資訊互動圖表，動態視覺化展示自 1983 年至最新年份的野火資訊。其中，以第 5 組互動地圖為例，其顯示 1984-2001 年和 2002-2020 年這兩段期間，野火面積佔該州總土地面積的比例之差異，同時也可藉由點擊地圖上各州，以顯示各州歷年受森林野火燃燒的面積折線圖 (圖 110)。

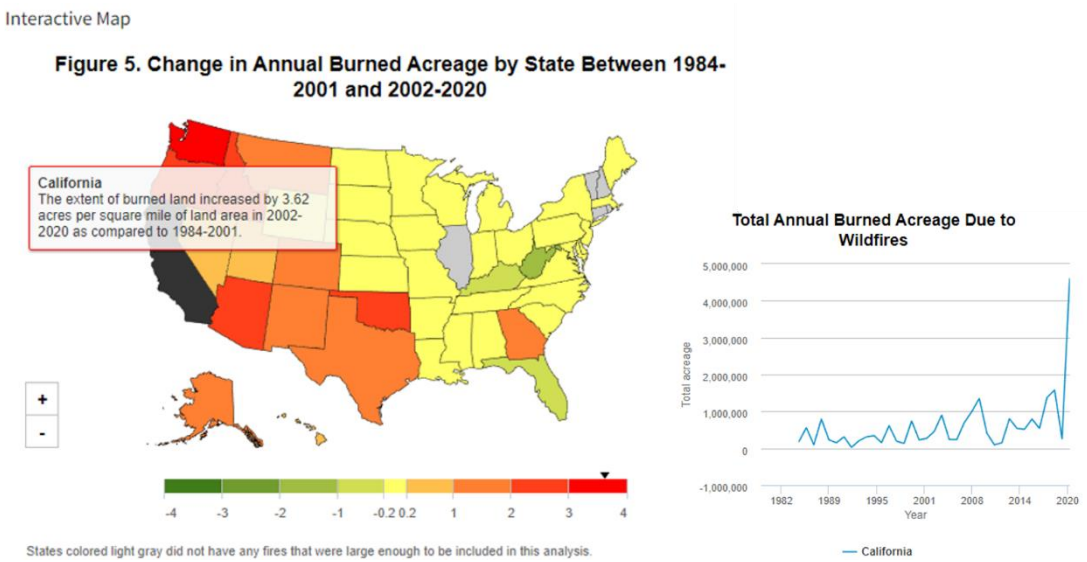


圖 110 加州於兩時間段之森林野火發生面積比較圖 (EPA)

111 年美國 McKinney 森林野火事件

這場美國加州 McKinney 的森林野火於 111 年 7 月 29 日開始，為美國 111 年最大的森林野火災害。U.S. Forest Service 試圖透過多項操作策略 (McKinney Fire Operational) 將其控制，惟此大火至今已延燒超過一個月，至 8 月 26 日時仍未被完全撲滅，總計已持續蔓延了 24,337 公頃 (圖 111)。此次野火對 Klamath 國家森林造成嚴重破壞，除使大面積森林變為裸露地，也間接導致該區域因 8 月 3 日強烈暴雨後，Klamath 河在某些地區的流量突然上升了一倍，突發性的洪峰也因夾帶大量漂流木及土砂，造成嚴重的土石流災害 (圖 112)。

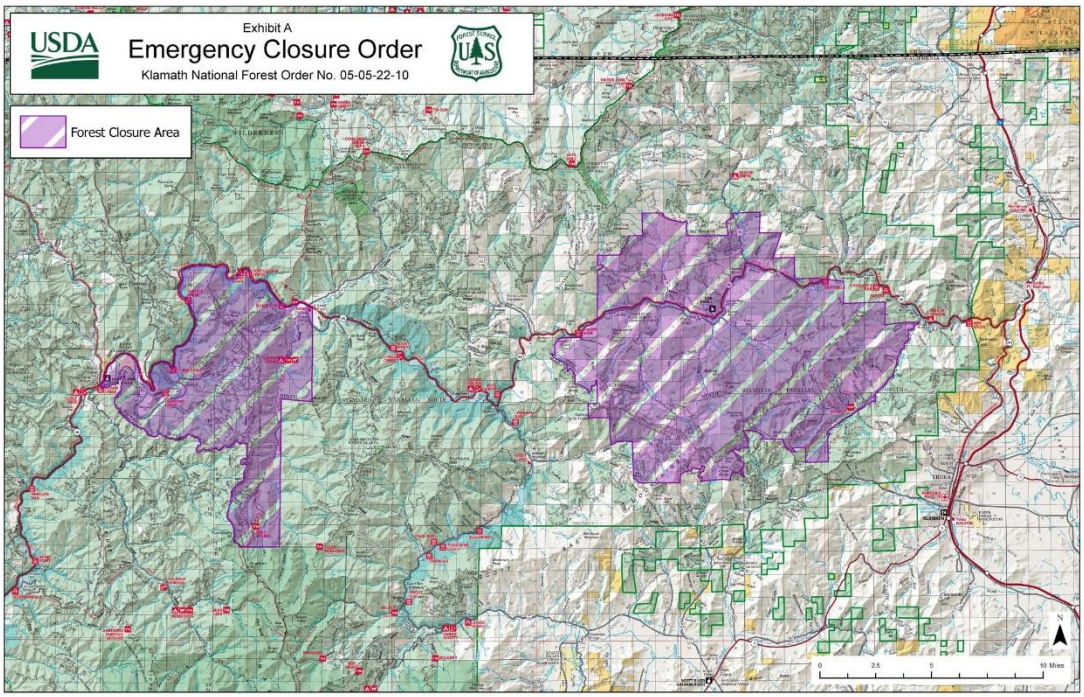


圖 111 McKinney and Yeti Fires – August 26, 2022 (USDA)

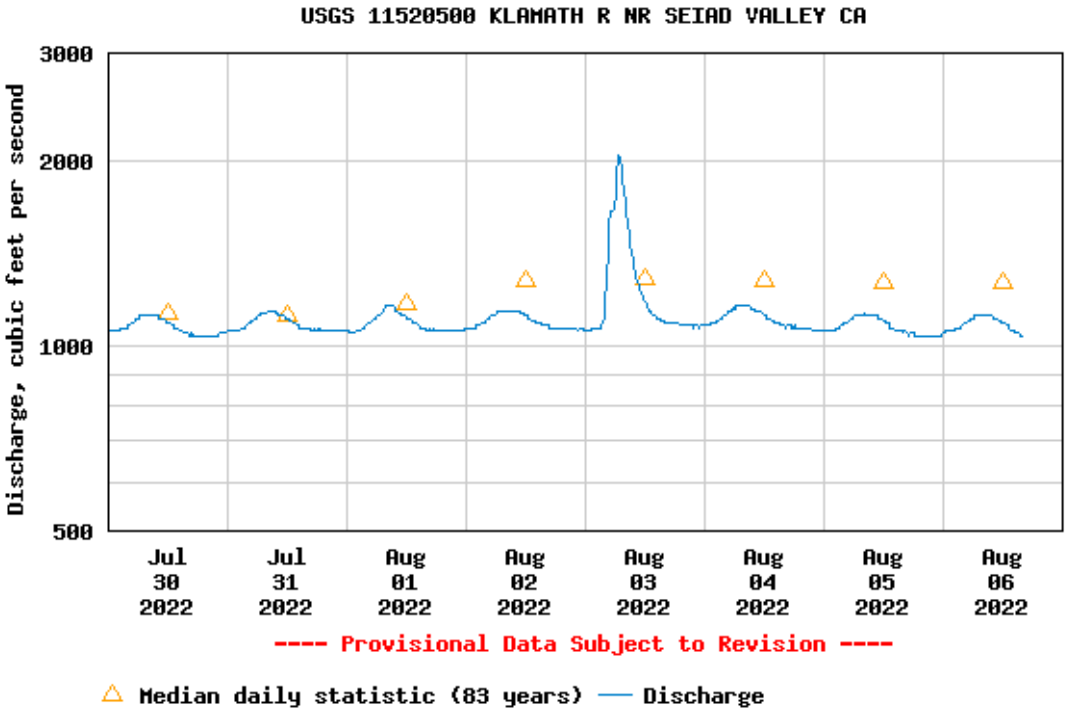


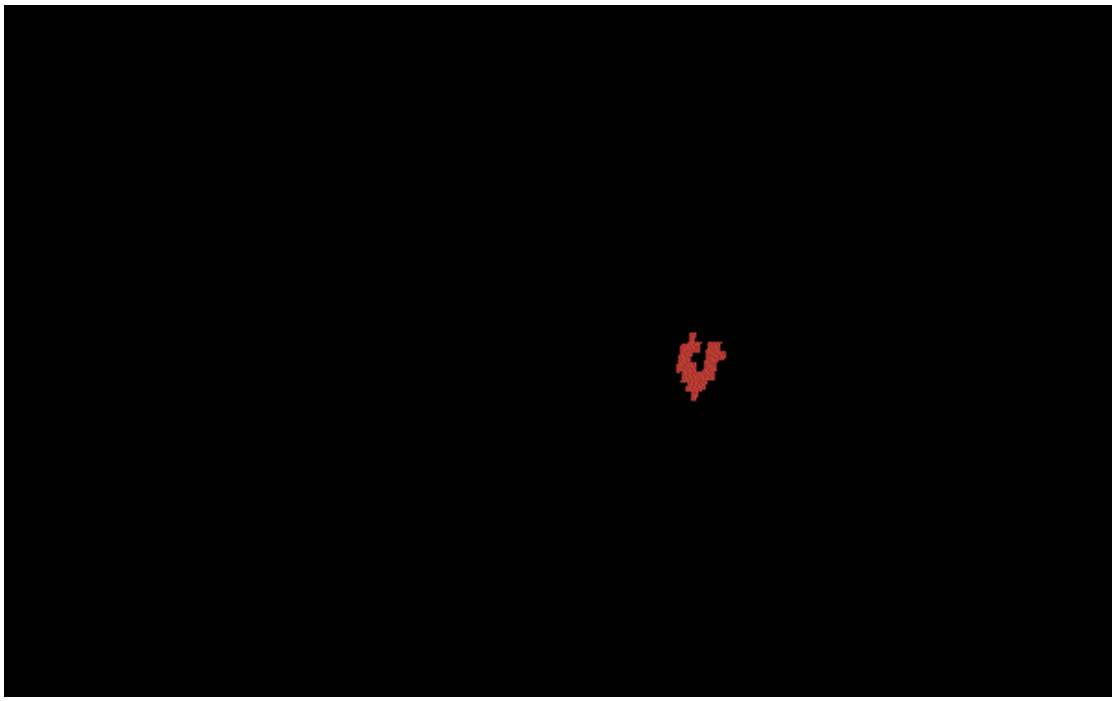
圖 112 森林破壞導致 Klamath 河流量異常上升 (USGS)

Google 也來協助 McKinney 森林野火防救災–GEE 及 Google Map

Google earth engine (GEE) 平台已收錄美國國家海洋與大氣管理局 (National

Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 的 GOES-16 和 GOES-17 衛星，由於兩顆衛星皆為地球同步衛星，故每顆衛星的觀測範圍有限，僅能分別觀測美國東西岸。該衛星攜帶進階基線成像儀 (Advanced Baseline Imager, ABI)，可於每 5 到 15 分鐘獲得一筆火災探測數據 (解析度約 2 km)，供消防單位能即時透過衛星來定位火災情形。

本期電子報微調由 Justin Braaten 分享之 GEE 操作流程，以分享 McKinney 森林野火的相關衛星影像及熱點動畫圖 (圖 113)。圖中可看到此野火形成的煙霧，並以紅色範圍標示野火偵測位置，這些數據對於即時監測野火延燒速度及範圍邊界非常有用。



出處：https://tech.swcb.gov.tw/Content/EPaper/d1ec432d-69b6-4b0d-9f5b-ee76e8bec860/GEE50731_getPixels.gif

圖 113 McKinney 森林野火衛星影像集熱點圖 (GEE)

此外，Google 工程師們也結合兩顆衛星數據進行分析 (GEE full code)，該 code 介紹了使用 GEE 的公開數據集來準確計算受野火影響區域的輪廓的方法，而該方法生成的野火輪廓能在對應的空間和時間，與國家跨部門消防中心 (National Interagency Fire Center, NIFC) 提供的實際野火範圍大致相符 (圖 114)。

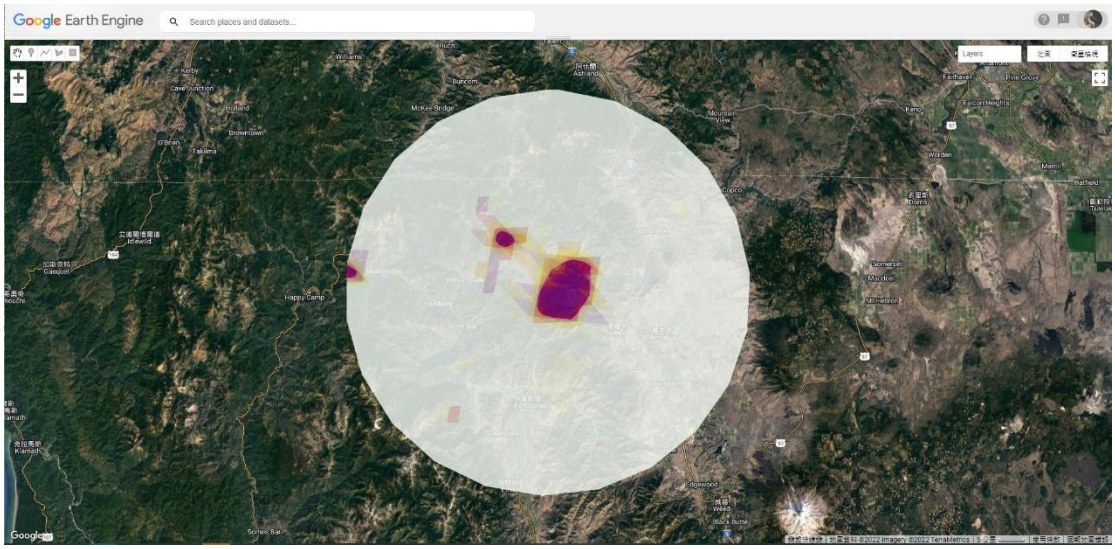


圖 114 McKinney 森林野火分析範圍及野火邊界展示圖 (GEE)

然而，寫 code 對一般的使用者而言，門檻較高，因此 Google Map 另推出森林野火的警戒範圍顯示功能，供一般民眾使用。這項功能可即時對該區域民眾發出森林野火警戒，提供該大火蔓延走向及野火邊界位置等功能，為現今疏散避難之重要資訊傳播途徑 (圖 115)。

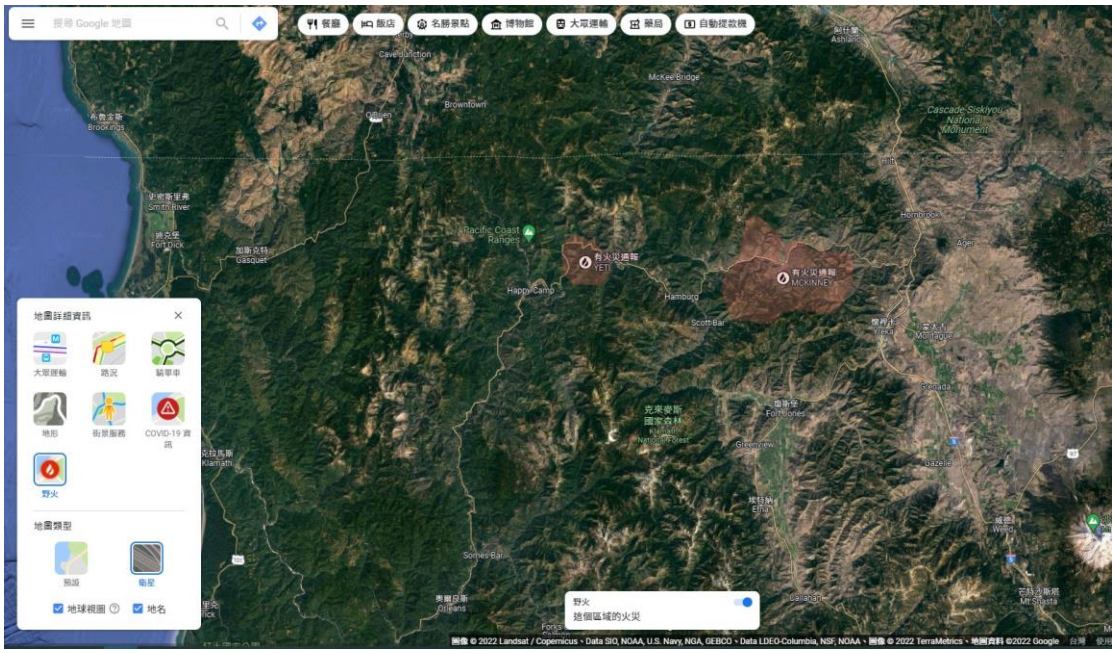


圖 115 McKinney 森林野火警戒區域展示 (Google 地圖)

BigGIS 也能分析森林火災

受限於 GOES 衛星軌道，上述方式僅能分析地球西半球區域。若要分析台灣地區的森林火災，其實也可透過收錄各式衛星資料的水土保持局 BigGIS 系統來達到相同的成果。使用者可利用 BigGIS 內建的 Sentinel-2 影像線上頻譜分析功能，計算目標區域之標準化燃燒指標 (Normalize Burn Ratio, NBR) 差異，達到快速辨識森林火災範圍的目的。

以 110 年 5 月 16 日玉山森林野火為例，只要以幾個步驟即可分析兩期之頻譜差異 (圖 116)，以快速掌握森林火災的範圍。其操作步驟如下：

1. 進入 BigGIS 平台
2. 輔助功能 (畫面左四)
3. 加值應用與分析工具
4. Sentinel-2 頻譜指標分析
5. 選擇頻譜指標 (標準化燃燒指標差異)
6. 框選分析範圍
7. 執行 (完成!)

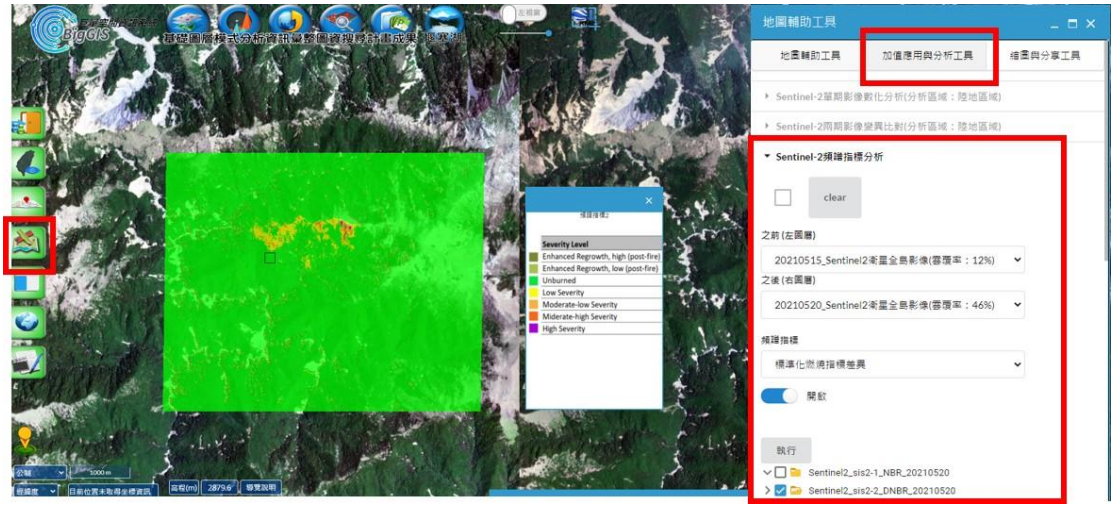


圖 116 以 BigGIS 頻譜分析玉山森林野火區域 (BigGIS)

➢ (二十)工程與自然共存的解方－無框架工法

山坡地在豪雨或地震過後，經常會形成崩塌並對民眾生命財產造成威脅，因此急需進行各種崩塌地治理工程來穩定邊坡。但治理過程中往往因開闢施工便道或施作混凝土固定框(如格梁及自由型格梁)，需伐除崩塌地內的殘木，且需經過長時間才能回復到原有的林相，或者固定框提供植物生長空間不足，導致植被無法正常生長。

隨著近年來，人們愈來愈重視與自然共生，為此，日本研發出「無框架工法」，既能保留原始林相又能確保足夠的空間讓植物生長。本期電子報將介紹無框架工法的構想、施工特點與在日本和台灣的實際案例(圖 117)。

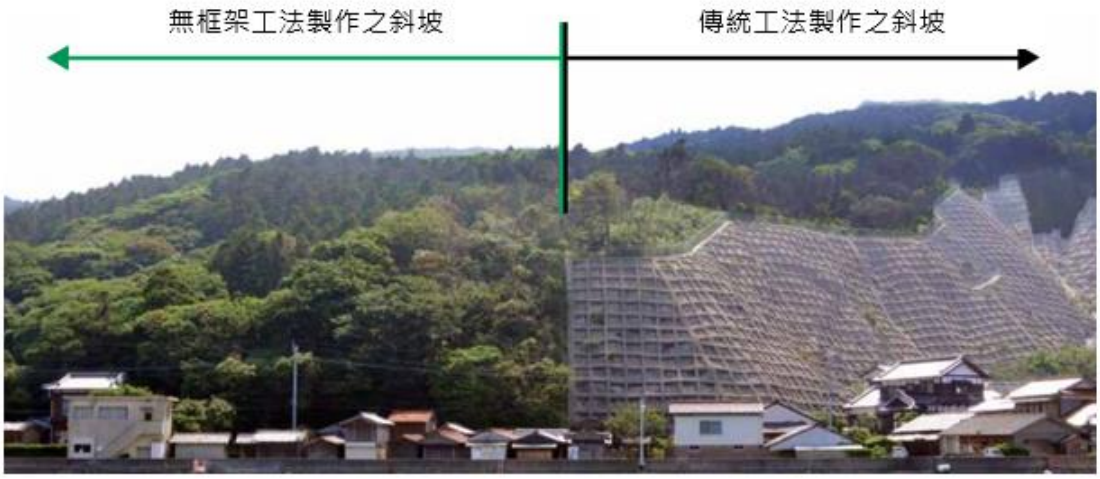


圖 117 日本無框架工法與混凝土固定框工法在崩塌地治理的比較

什麼是無框架工法?

無框架工法發想自樹木的根系。自然的樹木根系間彼此網結與深根，具有固土防坍功能，但不足以應對極端氣候下產生的深層崩塌，因此仿照樹根並加以技術改良的無框架工法孕育而生。此工法主要由支壓板、鋼棒、鋼繩所組成，藉由支壓板鎖定及利用水泥漿補強材料穩固鋼棒，來調節邊坡推移力與阻抗力的平衡，且鋼棒間利用鋼繩互相網結，使邊坡達到穩定的狀態(圖 118)。

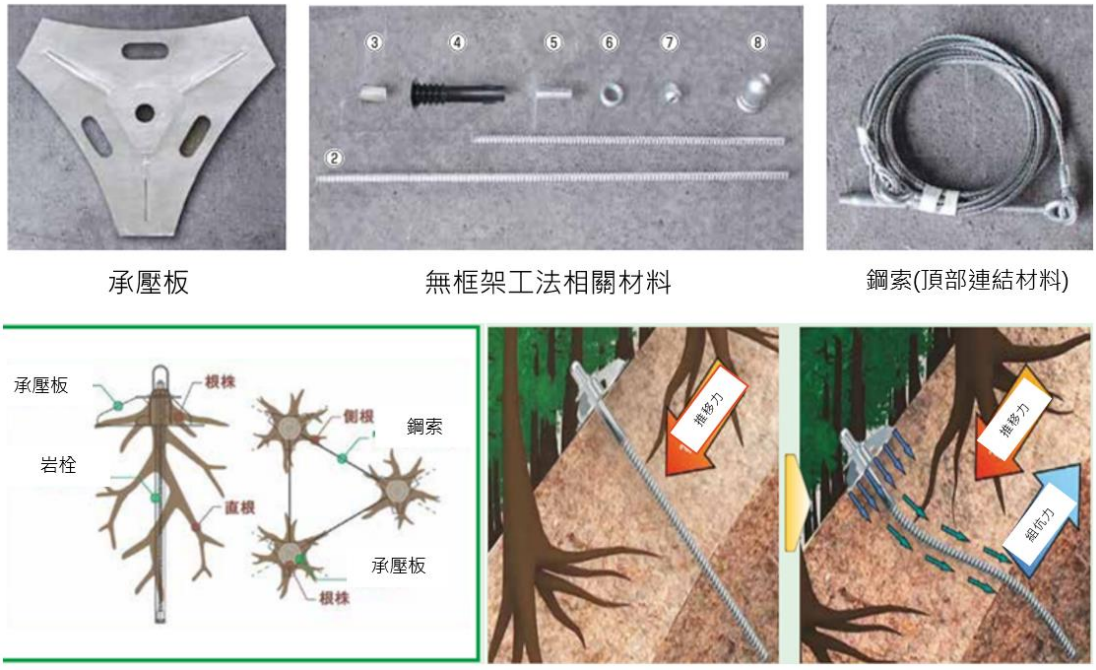


圖 118 無框架工法的零件與原理

無框架工法對於崩塌地治理的施工特點

無框架工法有以下施工特點:

1. 可保留原坡面的樹木與環境景觀。
2. 相較傳統混凝土固定框工法，工期能大幅減少 40%以上，且施工前置場地與施工現場距離上也較固定框大幅減少，對於施工區域的地幅限制及交通阻礙等均有改善(圖 119)。
3. 可與其它地工資材併用，增加效果(圖 120)。
4. 根據日本土木資料訊息網「SAGASHIBA」指出，一組設施之工程材料費為 30,390 日元~33,410 日元(含支壓板及鋼棒等，約台幣 9,000~10,000 元)。
5. 以施工面積 144 平方公尺為例，需要 42 組無框架工法，施工間距為邊長 2 公尺的三角形空間(圖 121)。



圖 119 無框架工法與固定框工法的前置場地與施工現場距離比較



圖 120 無框架工法與地工資材並用治理 (如:金屬網、植生網毯、無框網)

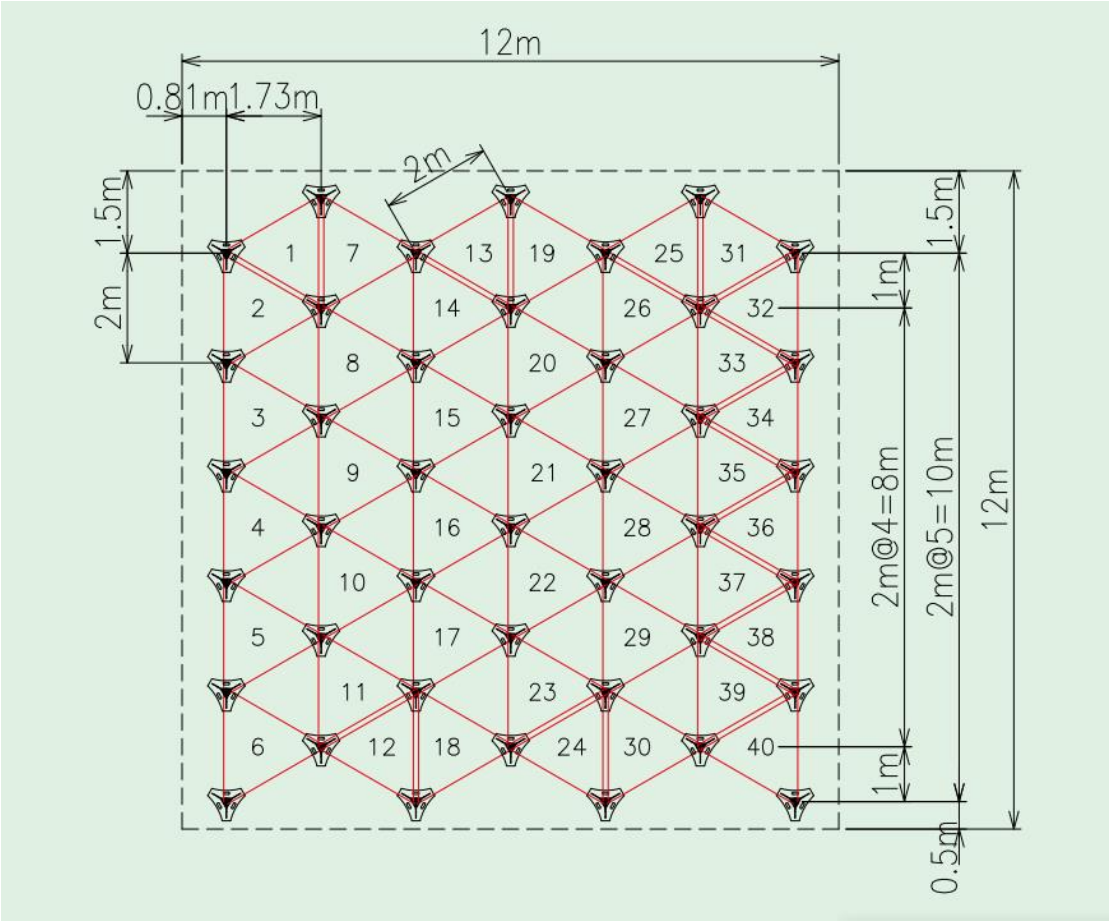


圖 121 以施工面積 144 平方公尺 為例的無框架工法排列方式

無框架工法的模型試驗與日本現地成果

經由室內模型實驗得知，同一處邊坡在重力加速度 761gal(約台灣地震震度分級 6 強)下，無工程保護處發生崩塌，有施作無框架工法處依然穩定，工法的邊坡穩定效果得到一定程度的實驗證明(圖 122)。

在日本崩塌地治理的實際案例中，2004 年的新瀉豪雨災害後新瀉一處邊坡上形成崩塌，此崩塌地利用無框架工法進行整治，經歷當年新瀉中越地震與 2007 年新瀉中越沖地震後，崩塌處不僅沒有產生二次崩塌，邊坡植被更在多次災害後生長茂密，在實際的工法應用中得出效果極佳的邊坡穩定與環境共生成果。(圖 123)



圖 122　以施工面積 144m^2 為例的無框架工法排列方式



圖 123 新瀉崩塌地施作無框架工法後 經歷豪雨與地震等多次災害的植生復育狀況

台灣水土保持的無框架工法經驗

無框架工法在日本多處擁有實際成果後，近年來亦在台灣進行實地運用。首次治理經驗係位於臺 18 線阿里山公路 86.3 公里處(坐標 23.499125, 120.797459)的公路邊坡崩塌治理工程，工程於 2013 年完成，經歷 8 年後已不見當年施工痕跡，整體邊坡回復穩健狀況，提供用路人安全的駕駛環境。(圖 124)



圖 124　臺 18 線阿里山公路 86.3 公里處施作無框架工法 經歷 8 年後實際成果

水土保持局臺南分局亦將此工法應用在高雄市六龜區興中國小崩塌地，該崩塌地位於荖濃溪上游支流，2015 年時受豪雨經常集中在高雄山區與受溪水掏刷坡面基腳影響，產生大面積裸露的崩塌地，危及上方國小與社區。因此 2018 年於崩塌地的坡腹施作坡面排水系統，坡緣施作無框架工法進行整體性的崩塌地治理工程。

工程完工後經歷 4 年，111 年水土保持局技術研究發展小組至現地進行調查，發現經由排水系統將逕流安全導排至下方溪流，以及無框架工法穩固坡緣不再滑動，並且長出茂密的先驅植被林相，已不易看出此處曾經發生過大面積崩塌與工法施作痕跡，相信不久後植生便會開始演替，加速回復原有林相，達成水土保持工程的與環境共生效果。(圖 125 與圖 126)



圖 125 興中國小崩塌地 2015 年發生崩塌 與 111 年無框架工法治理完工 4 年後空拍比較圖



圖 126 無框架工法於 111 年現地調查時崩塌地現況

從日本與台灣的治理經驗成果可以看到，無框架工法兼具工程與環境保護的效果，亦代表水土保持的人與自然共存精神，未來在崩塌地治理工程日漸普及後，期能使山坡地與土地利用更加穩定與安全。

➢ (二一)集水區降雨-逕流模式開發及應用性探討

受限於設置條件及維運成本，集水區雨量站及流量站設置數量有限，以致難以精確觀測區內逕流量，常需透過經驗公式/數值模式進行估算。然而在缺乏實測值驗證下，如何快速評估所採用之模式工具的適用及準確性，將是一大挑戰。本期電子報將介紹美國環保署(US EPA)所彙整常見的降雨-逕流估算方法，探討如何在集水區中選擇一個適合的降雨-逕流模式。

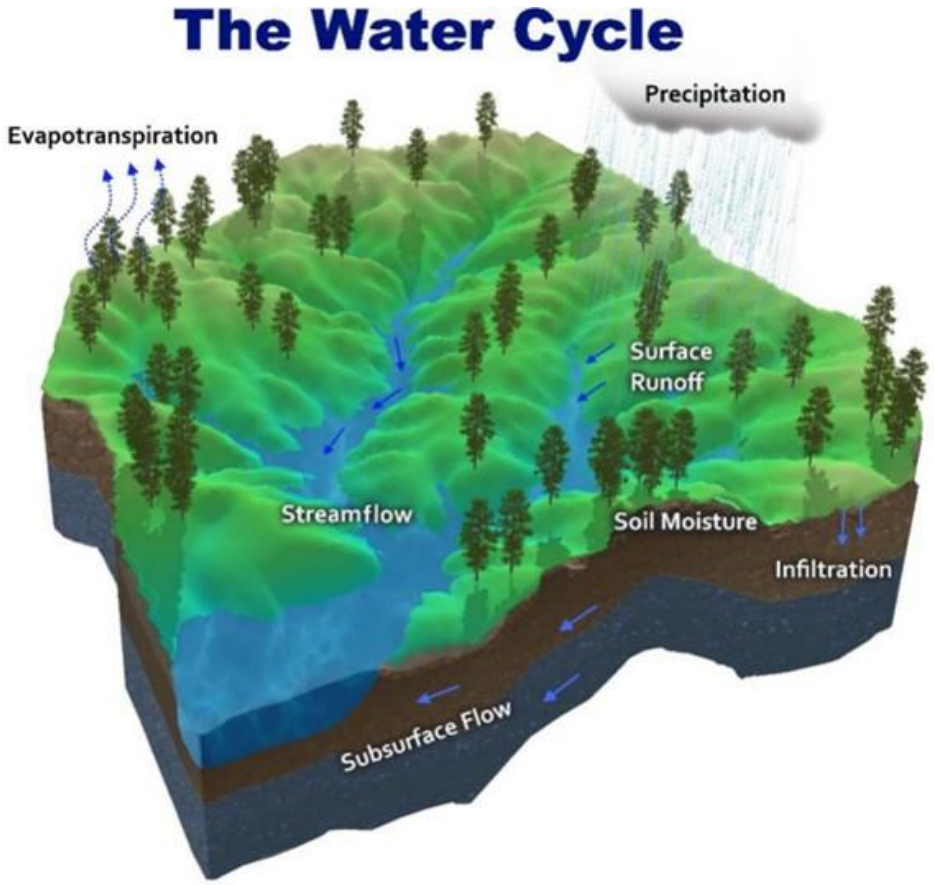


圖 1. 水循環過程示意圖(出處：Brewster, 2017; ESRI, 2015)

一、 逕流量定義

集水區中所謂的「逕流」，指的是降雨後未入滲到土壤，直接在地表流動的水，常見如野溪、河川、湖泊、水庫等(Perlman, 2016)，逕流的產生是由於土壤過飽和及土壤超滲雨原因所致(Yang et al., 2015)。而從降雨變逕流過程僅是水循環中的一個部份，常以水平衡方程式表示如下：

$$Q_s = P - ET - \Delta SM - \Delta GW$$

其中，Qs 稱為表面逕流，P 為降雨，ET 為蒸發散，ΔSM 為土壤含水量的變化，ΔGW 則為地下水儲存量的變化。

在水資源監測上，估算逕流量是一項重要的工作，如洪水預報評估洪水對下游保全對象的危害度。此外，集水區所產生之逕流亦將伴隨泥砂及污染物傳輸，進而影響下游環境，因此合理的估算逕流量對集水區管理而言將是一重要課題。

二、 降雨-逕流模式發展

早在西元 1851 年，電腦數值模式還未發展成熟前，Thomas Mulvaney 就以概念化模型-「合理化公式」(Rational Method)估算逕流量，藉由降雨強度、集流面積、逕流係數決定集水區的尖峰流量(Beven, 2012; Xu, 2002)。之後，「單位歷線」(Unit Hydrograph)法採疊加原理估算暴雨事件的逕流量，可分離河川中因暴雨所形成之逕流及基流量(Base Flow)，如圖 2.。隨著對水文過程的深入理解，逕流模式的開發也越來越精細。然而，因應不同事件，模式開發的目的性也不同，因此各模式各有其優勢與適用時機，一般在模式選定上，可依使用目的、資料取得難易度、計算時間成本、模式開發預算等來初步評估模式合宜性。

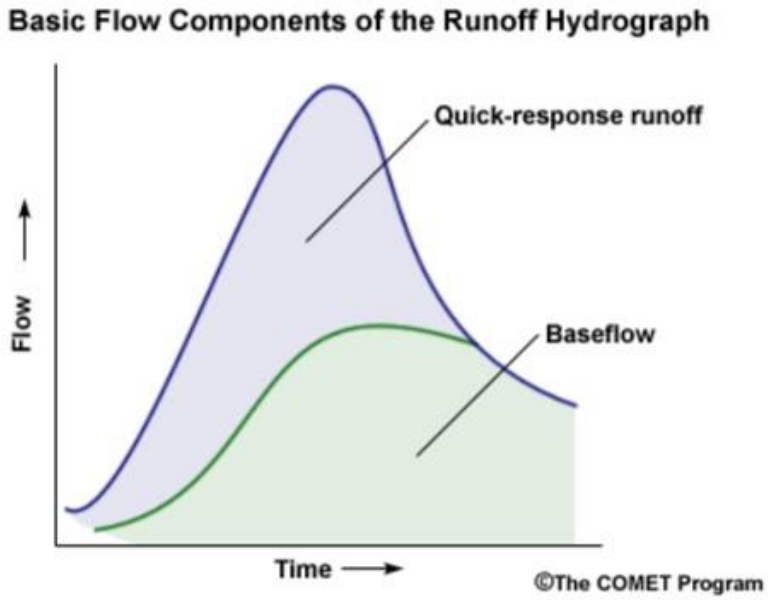


圖 2. 單位歷線法可將基流量(Baseflow)與暴雨事件形成之逕流量(Runoff)做分隔

(出處：UCAR., 2010)

三、 降雨-逕流模式架構

逕流量的計算將由模式開發架構所決定，依建構複雜度可區分為經驗公式(Empirical Model)、概念模式(Conceptual Model)、物理模型(Physical Model)等，各模式架構比較如表 1.所示。

表 1. 降雨-逕流模式架構比較

	經驗公式	概念模式	物理模式
方法	輸入與輸出兩者為非線性關係、採黑盒分析	簡化集水區內水貯蓄方程式	表達水文過程採用物理定律或力學方程式
優點	參數少、可快速評估及模擬	參數較易檢定、簡化模式架構	整合空間及時間的變化，可做較精細的集水區模擬
缺點	與集水區特性差異大、結果常隨著資料誤差而有較大變化	不考慮集水區空間的變化	參數多且需要檢定，較適合特定集水區
最佳使用	缺乏雨量站設置的集水區、僅需出口處逕流量時	不需要太長計算時間及資料有限時使用	有大量觀測數據可使用時
常見模式	曲線數(Curve Number)、人工神經網路	HSPF【b】、TOPMODEL【b】、HBV【c】、Stanford【a】	MIKE-SHE【a】、KINEROS【c】、VIC【a】、PRMS【d】

a. Devi et al. (2015)
b. Johnson et al. (2003)
c. Woolhiser et al. (1990)
d. Singh (1995)

(一) 經驗公式

當缺乏雨量站及集水區資訊時，可採用經驗公式(Pechlivanidis et al., 2011)，其所需參數較少，具有簡化、快速計算、花費少的優點，但其採用黑盒分析，亦即內部運算過程無法得知。經驗公式又稱為資料驅動(Data-driven)模式，亦即資料本身的正確性相當重要，錯誤的資料往往會導致結果有很大的偏估。常見以非線性統計方法來表示輸入(Input)與輸出(Output)兩者之間的關係，如圖 3.所示降雨與逕流量的關係。

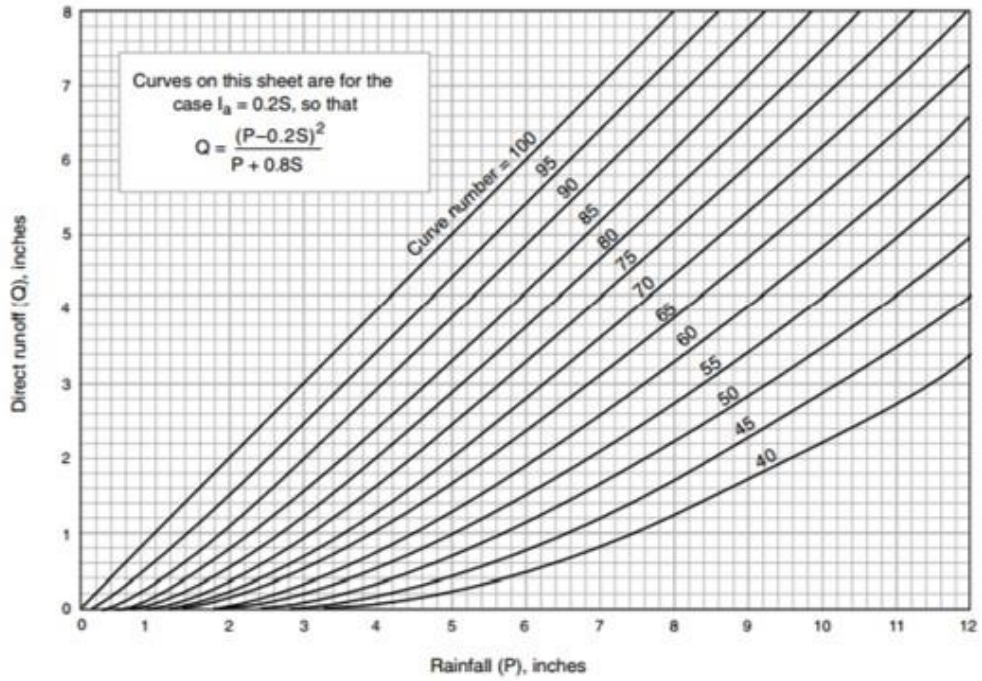


圖 3. 不同曲線數(Curve Number)所迴歸出降雨(輸入)與逕流(輸出)關係，其中 Ia 為起始扣除量、P 是降雨量、S 是滯留參數、Q 是逕流量。(出處：USDA, 1986)

(二) 概念模式

概念模式將水文循環過程簡化，也因諸多簡化程序，集水區在空間的變異性並不在模式考量中，另外，其控制方程式較缺乏物理意義，通常適用在較不需細部掌握集水區特性時。模式以降雨-逕流、蒸發散、地下水流動等彼此轉換關係來表示水平衡方程式，其控制方程式係將地表水及水庫儲蓄量變化代入水平衡方程式中，如下所示：

$$\frac{dS}{dt} = P - ET - Q_s \pm GW$$

其中，dS/dt 是水庫容量的變化，P 是降雨量，ET 是蒸發散，Qs 是表面逕流量，GW 是地下水

(三) 物理模型

物理模型主要是依據水文循環的物理特性進行模式開發，控制方程式係依據水平衡方程式(Water Balance Equation)、質量、能量及動量守恆(Conservation of mass, energy, and momentum)、運動波(Kinematics)、聖維南(St. Venant)、波西尼斯克(Boussinesq's)、達西(Darcy's)以及理查德(Richard's)方程式所得。例如將聖維南方程式的半離散形式整合於水文模擬系統中。

$$\left(\frac{\partial h}{\partial t} = P_0 - I - E_0 - Q_{oc} + \sum_{j=1}^{3} Q_s^{ij} \right)_i$$

其中，∂h/∂t 為水深隨時間的變化，Qs^ij 為表面逕流從網格點 i 到 j，Po 是降雨量，I 是入滲量，Eo 是蒸發量，Qoc 是漫地流跟河道演算間的互動量

物理模型能模擬集水區在空間以及時間的變化，亦可模擬地下水流動、集水區內的泥砂、營養源、化學物質間的傳輸行為。模式經參數檢定後，模擬結果能有效反應出集水區特性，如圖 4.所示。

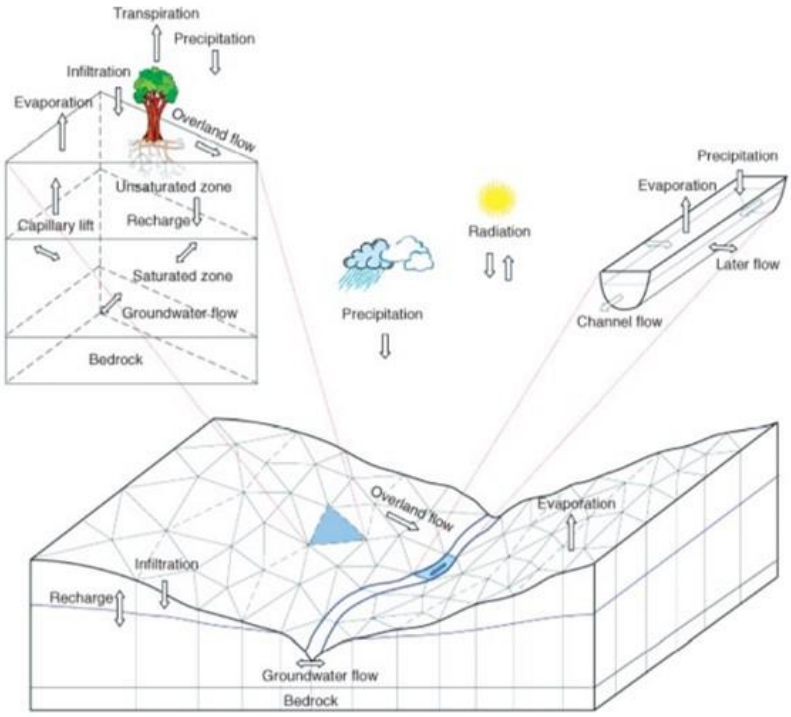


圖 4. 以物理方法建置的水文模式架構，可模擬水流流動過程，包含漫地流、蒸發散、入滲、地下水補注、地下水流動(出處：Qu, 2004)

四、 依空間結構所區分之逕流模式

逕流模式依空間結構變異程度如圖 5.所示，可分成整合型(Lumped)、半分佈式(Semi-distributed)、分佈式(Fully distributed)模型。其中整合型模式不考慮集水區在空間上的變異性；半分佈式模式則能反應出集水區在某些空間的變異性；分佈式模式以網格點模擬集水區在空間的變異性，三者比較如表 2.。

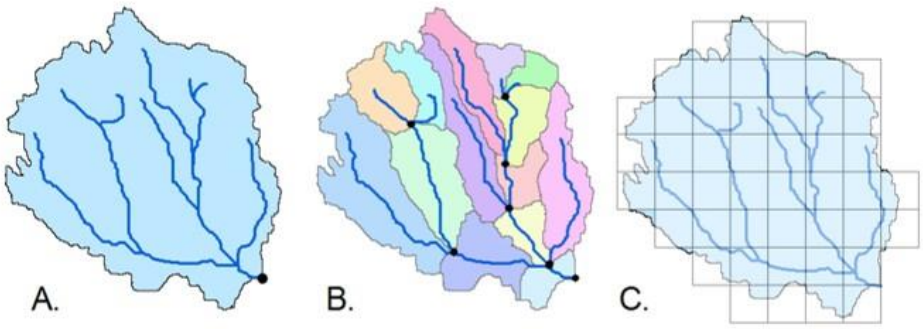


圖 5. 不同空間結構所開發之逕流模式示意圖，A.整合型模式、B.半分佈式模式、C.分佈式模式(出處：ESRI, 2015)

表 2. 不同空間結構的降雨-逕流模式比較

	整合型	半分佈式	分佈式
方法	忽略空間變化，集水區視為單個單元	一部分整合型，一部分分佈式	將空間變異性納入考量
輸入	將資料取平均	兼採資料平均及指定子集水區內資料	所有網格點皆需有指定資料
優點	計算快，取平均條件進行模擬時效果佳	可表示集水區重要特徵	水文循環以物理公式做表示
缺點	太多假設，失去空間解析度、不適用大範圍地區	資料部分取平均，失去空間辨識度	需要大量資料，計算時間長
範例	經驗及概念模式或機器學習	概念或是某些物理模型，TOPMODEL【a】, SWAT【b】	物理式模型，MIKESHE【c】, VELMA【d】

【a】Devi et al. (2015)
【b】Beven (2012)
【c】Singh (1995)
【d】McKane et al. (2014)

(一) 整合型模式

將所有集水區視為單一均質集水單元，集水區的空間變異性不納入考量，所有資料及變數均以單一平均值做代表，適合估算全流域單一出口處的逕流量。常見「經驗公式」及「概念模式」以整合模型來模擬水文於空間上的變化。

(二) 半分佈式模式

兼具整合型及分布式模型的特色。將集水區分成更小的集水區分別做計算，各子集水區擁有特定參數群，但其參數視為均一值，例如，各子集水區可以依照坡度、土壤組成、植生覆蓋不同特性來組成單一水文單元(Hydraulic Response Unit, HRU)。比起分佈式模式，使用半分佈式的優點是計算時間快，可用較少的資料及參數，缺點則是當使用網格點降雨資料，需取平均作使用，導致降雨在空間變異性無法被納入考量。常見「概念化模式」及「物理模式」採用半分佈式運行。

(三) 分佈式模式

將空間的不同特性(異質性)納入考量，參數較多而複雜，其將集水區資訊透

過網格點來進行計算，通常需要大量資料，如數值地形高程、土地使用圖層、網格點降雨量、土壤特性、集水區範圍及邊界條件等，其演算成果與真實情況最接近。分佈式模型的缺點就是每個格點上皆須有數據，如網格點欠缺數值，則須以外插(Extrapolation)來給定，分佈式模型受限於空間網格的解析度，運算時間可從幾分鐘到數個小時之久。

五、 總結

1. 降雨-逕流模式皆是簡化水文循環的過程來開發，模式大多需要參數檢定且存在著不確定性，加上集水區逕流量隨時間及空間改變，要準確估算集水區降雨-逕流量是不切實際的。舉例來說，隨著集水區內的植生覆蓋狀況、土壤含水量多寡、氣象條件及地表面條件狀況不同，逕流量也會有很大的變異。

2. 藉由降雨-逕流模式所得模擬成果，可掌握集水區逕流量因開發及環境變動時所帶來的變化。

3. 降雨-逕流模式可從開發複雜度及空間結構來區分，模式建置依控制方程式的複雜程度可分成經驗公式、概念模式、物理模型；依集水區空間結構建置時，可分成將流域視為單一單元的整合型模式、將流域劃分成子集水區來模擬的半分佈式模式及全流域以網格點做計算的分佈式模式。

4. 選定模式時，應考量計畫目的性、資料取得難易度、研究區域大小、需要輸出的變數及對結果的期望等來綜合做評估，例如集水區有高入滲率特性時，表示漫地流所產生之流量相對小，如選擇僅能計算漫地流而忽略地下水流動的模式時，則不適當(Knapp, 1991)。資料的精密度亦是模式選擇重點，當集水區缺乏精細資料，或者全域調查花費過於昂貴，則應以簡化模式為宜(Rinsema, 2014)。

參考文獻：

1. Beven, K. J. (2012). Rainfall-Runoff Modelling: The Primer (2nd ed.): Wiley-

Blackwell.

2 Brewster, R. (2017). Paint.net 4.0.17(Version 4.0.17). Retrieved from https://www.getpaint.net/

3. Devi, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarajish, G. S. (2015). A Review on Hydrological Models. Aquatic Procedia, 4, 1001-10017.

4. ESRI. (2015). ArcGIS Release 10.3.1 CA: Environmental Systems Research Institute.

5. Johnson, M. S., Coon, W. F., Mehta, V. K., Steenhuis, T. S., Brooks, E. S., & Boll, J. (2003). Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR. Journal of Hydrology, 284(1-4), 57-76.

6. Knapp, V., Durgunoglu, A., Ortel,T. . (1991). A Review of Rainfall-Runoff Modeling for Stormwater Management. U.S. Geologic Survey, Illinois District.

7. McKane, R., Brookes, A., Djang, K., Stieglitz, M., Abdelnour, A., Pan, F.,…Phillips, D. (2014). VELMA Version 2.0 User Manual and Technical Documentation Corvallis, Oregon

8. Pechlivanidis, I. G., Jackson, B. M., Mcintyre, N. R., & Wheater, H. S. (2011). Catchment Scale Hydrological Modelling: A Review of Model Types, Calibration Approaches and Uncertainty Analysis Methods in the Context of Recent Developments in Technology and Applications. Global NEST Journal, 13(3), 193-214.

9. Perlman, H. (2016, December 15). The Water Cycle- USGS Water Science School.

10. Qu, Y. (2004). An Integrated Hydrologic Model for Multi-Process Simulation using –discrete Finite Volume Approach. (Doctor of Philosophy), Pennsylvania State University.

11. Rinsema, J. G. (2014). Comparison of rainfall runoff models for the Florentine

Catchment. University of Tasmania.

12. Singh, V. P. (1995). Computer Models of Watershed Hydrology Highlands Ranch, CO: Water Resources Publications.

13. UCAR. (2010). Runoff Modeling Concepts. Runoff Processes.

14. USDA. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. Natural Resources Conservation Service.

15. Woolhiser, D. A., Smith, R. E., & Goodrich, D. C. (1990). KINEROS, A kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual. Agricultural Research Service.

16. Xu, C. Y. (2002). Hydrologic Models(Vol. 2). Sweden: Uppsala University Department of Earth Sciences Hydrology.

17. Yang, W.-Y., Li, D., Sun, T., & Ni, G.-H.(2015). Saturation-excess and infiltration-excess runoff on green roofs. Ecological Engineering, 74, 32-336.

➢ (二二)數位時代下的地球科學，美國 Teach the Earth 教育資源庫計畫

教育是經驗傳承的關鍵，各國也藉由課程設計、師資培養、基礎研究等計畫，將地球科學融入到國民教育之中，而地球科學這個主題，在氣候變遷持續影響的當下，更有其重要的教育意義。目前國內持續深化 108 課綱架構，在地球科學的各個面向皆有著墨，如 GIS 地理資訊系統、河川水系概念、地質結構與沉積等。本期電子報將介紹美國 NAGT(National Association of Geoscience Teachers 全國地球科學教師協會)與其 Teach the Earth 之計畫成果(如圖 1)，以美國 21 世紀地球科學為主，所延伸出的河相變化及沉積作用等議題，以及網站中相關的教學資源、專題以及架構為本期內容。

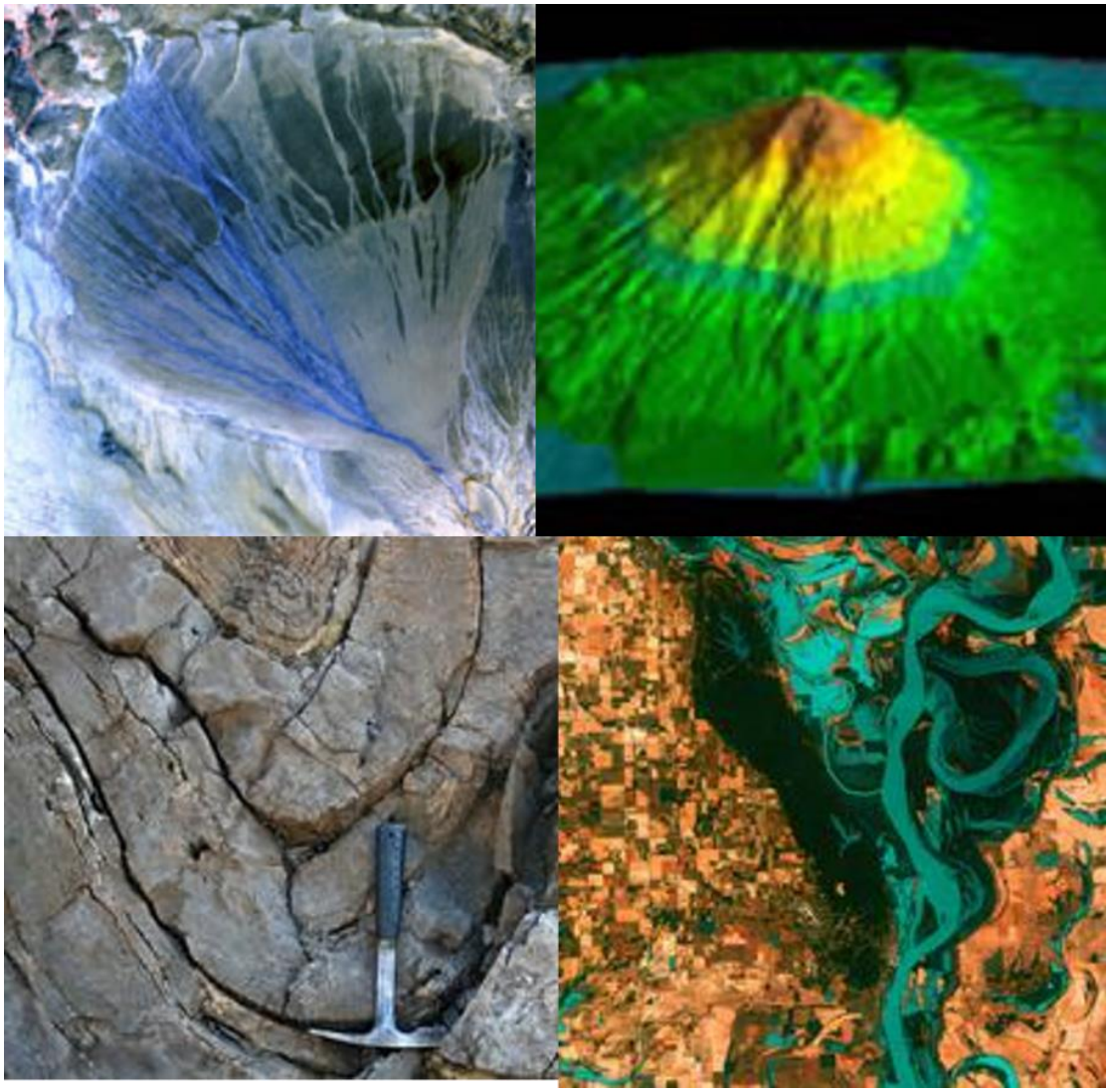


圖 1、地球科學教材，河相、構造、水文。來源：

https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/geomoph/emriver/index.html

從河相看見地貌的變化

地表環境是大家生活中所熟悉的，也是教學上最能舉例的主題之一，因此在美國 Teach the Earth 網站中，以服務地球科學教育的角度出發，整合了各種面向的教學資源，包括從歷史與地貌的角度切入的主題(如圖 2)，以及不同環境下所記錄的珍貴圖像與影片(如圖 3、4)。



圖 2、地形地貌的教學設計框架。來源:

https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/geomorph/index.html

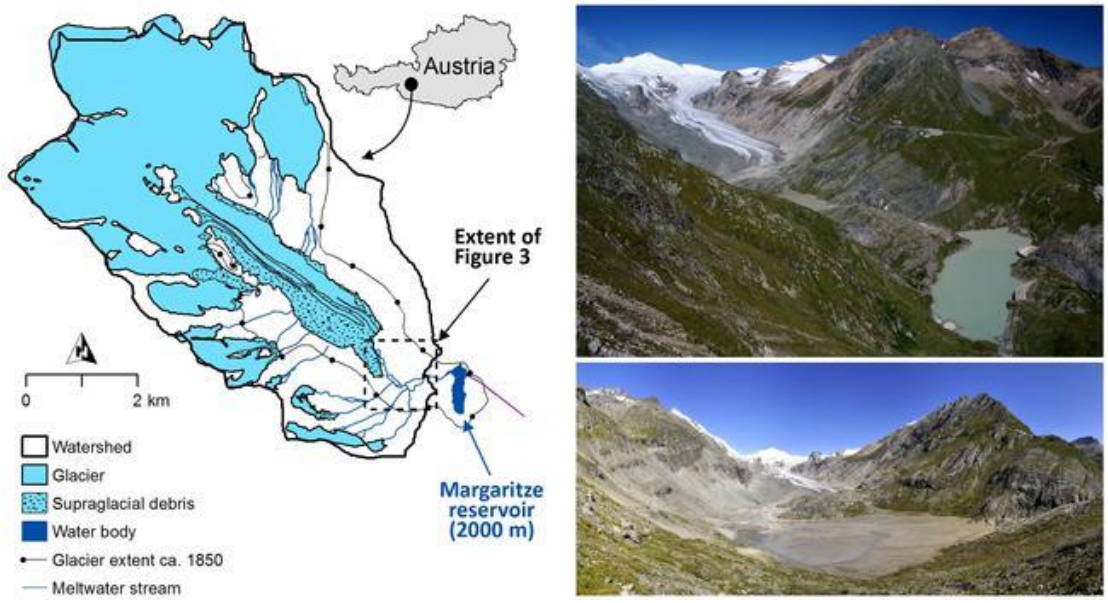


圖 3、帕斯特澤冰川位置和簡化地貌。來源：

https://serc.carleton.edu/details/images/36434.html

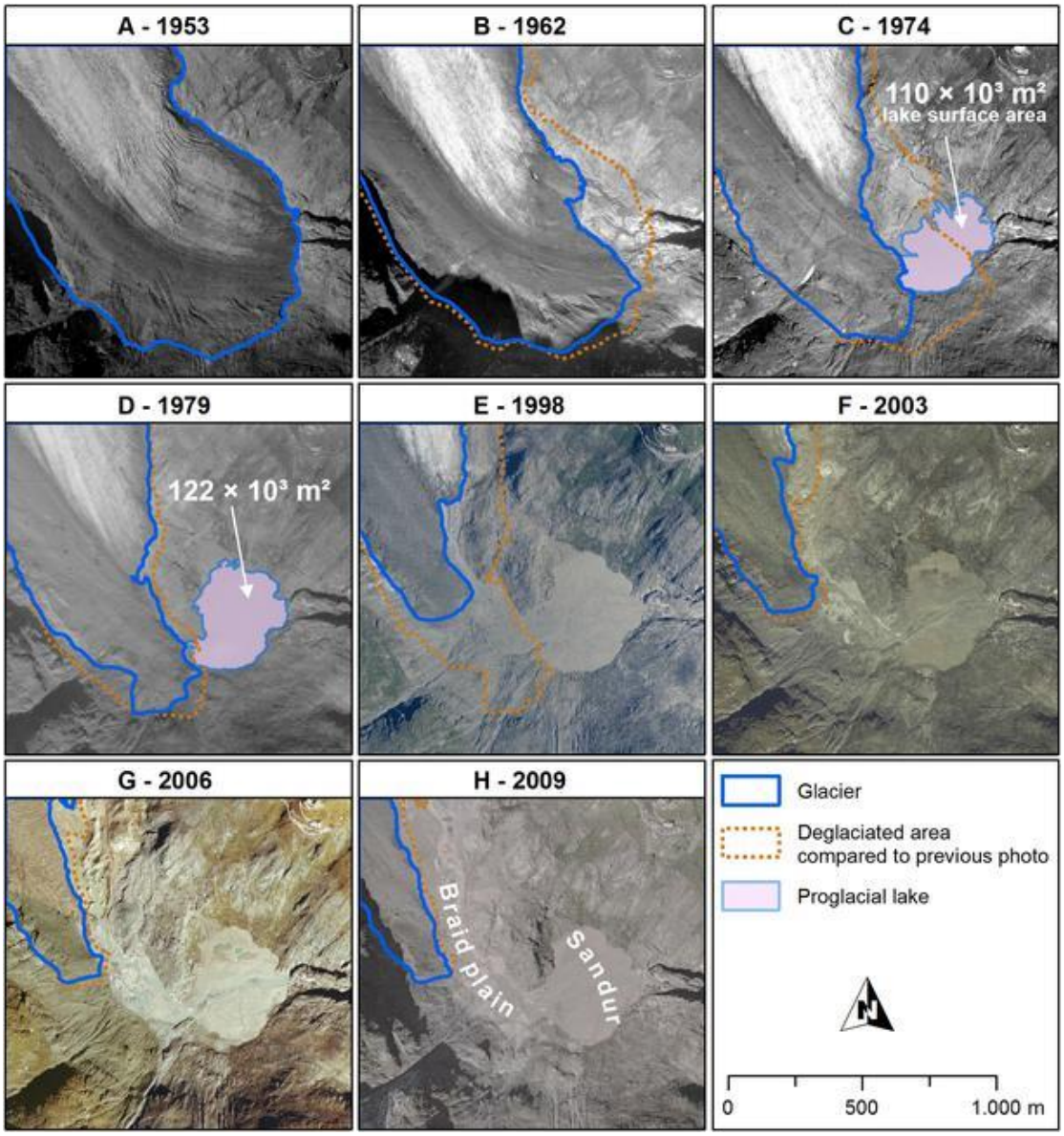


圖 4、帕斯特澤冰川歷年正射影像。來源：

https://serc.carleton.edu/details/images/36436.html

以上述地貌教學模組為例，內容涵蓋了課程設計、教材教法、教案或線上範例等內容。其資源庫不僅收錄了歷年工作坊資料，也收錄了完整的河相介紹，由美國密蘇里州自然資源部資助 Emriver 公司 (如圖 5)所錄製的河川型態相關影片集，也適合對河川有興趣，但又沒那麼熟悉的夥伴入門。整組影片共 59 個影片，包含了河川不同型態的交互作用(如圖 6)、底床紊流的影響等(如圖 7)，並提供了

簡單的說明指南(如圖 8)，幫助不同領域的夥伴、教育工作者及學生去理解與應用。

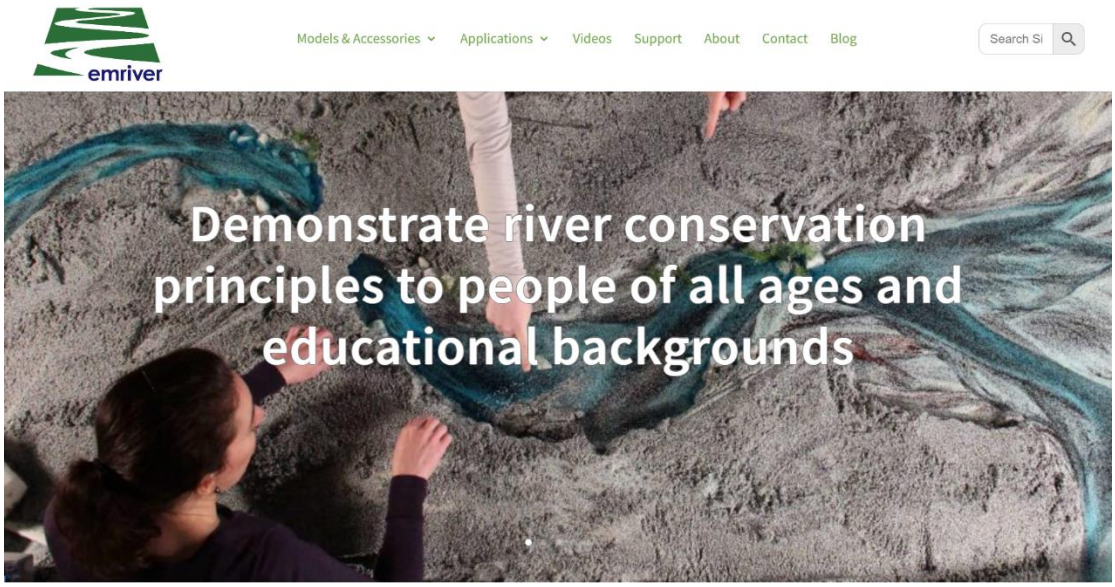


圖 5、Emriver 公司。來源：https://emriver.com/



圖 6、攻擊岸掏刷。來源：

https://www.youtube.com/watch?v=Eev8olc8mgA&list=PLVa74th2F4P9p-mj-KIrlls8D5l6D1tb-&index=24&ab_channel=Emriver%2CInc.



圖 7、紊流與河川底床交互作用。來源：

https://www.youtube.com/watch?v=UAS19vsbhIQ&ab_channel=Emriver%2CInc.

Description of clips and teaching notes
Steve Gough

Little River Research & Design
550 N. University Ave.
Carbondale, IL 62901
618-529-7423 fax 618-529-0927
www.emriver.com
info@emriver.com

The clips are intended for use by instructors to demonstrate river geomorphology.



This project was supported and supervised by the Missouri Department of Conservation. The U.S. Environmental Protection Agency Region VII, through the Missouri Department of Natural Resources, has provided partial funding Under Section 319 of the Clean Water Act.

Videography, post production work, and moving graphics were done by Steve Gough. Mike Covell of SIU-Carbondale provided technical guidance. Kimi Artita and Jesse Riechman of LRRD assisted with many aspects of this project, including research on the behavior of the Emriver model.

Please contact us at info@emriver.com with questions. Please cite these videos as:

圖 8、簡要說明指南。來源：

https://emriver.com/documents/2018/01/geomorphology-videos-teaching-guide-youtube.pdf/

而在教育工作者結合科技的教材教法介紹中，Teach the Earth 也提供了結合 GoogleEarth 軟體的教學及呈現方式(如圖 9)，包含了一些線上範例（如圖 10），不僅可介紹過去的全球事件，也能應用相關說明，設計自己文化背景的視覺教材。

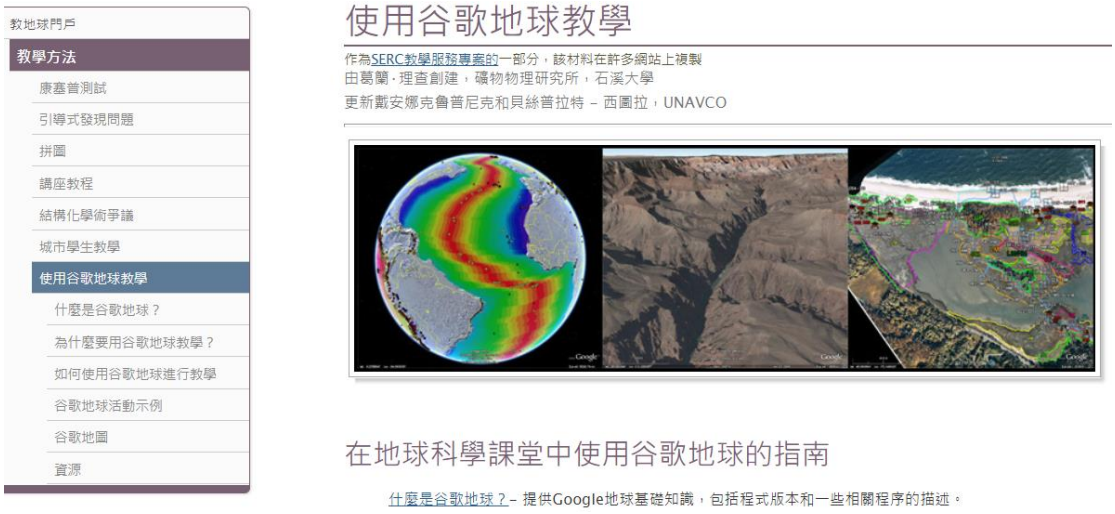


圖 9、應用 GoogleEarth 教學地形學。來源：

https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/teaching_methods/google_earth/index.html



圖 10、線上案例示範。來源：

https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/teaching_methods/google_earth/index.html

美國 Teach the Earth 地球科學資源

Teach the Earth 整合網站是美國 NAGT 計畫協作的成果，除了前述提到的河相教學指引外，也提供了地球科學的其他關連領域(如圖 11)，網站收錄了美國在幼兒園到 12 年級的 K12 教學架構設計，以及研究成果的開放、數位教材與工作坊紀錄等，不僅能用於當地教育，更藉由網站的方式分享給不同的國家參考、應用。



圖 11、Teach the Earth 主題資源列表。來源：

https://serc.carleton.edu/teachearth/index.html

地球科學範圍廣泛，除了河川的演變，更大尺度的時間與地貌的交互作用結果，也衍生了沉積地質學的主題(如圖 12)，在不同氣候、時間作用下所產生的珍貴教材，許多案例如岩石互層(如圖 13)、加州死亡谷沖積扇等(如圖 14)，也值得一探究竟。

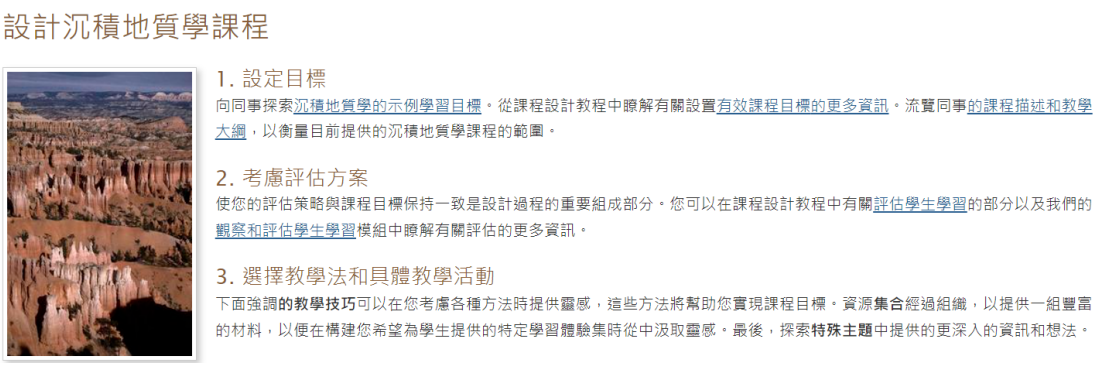


圖 12、沉積地質學主題。來源：

https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/sedimentary/index.html



圖 13、交替的砂岩和頁岩床，帕西菲卡（Pacifica），加利福尼亞州，馬里米勒，俄勒岡大學。來源：www.marlimillerphoto.com



圖 14、加州死亡谷惡水的沖積扇，俄勒岡大學馬里米勒。

www.marlimillerphoto.com

地球科學隨著技術的進步，所能觀測到的資料、研究的成果都在持續地累積當中，更藉由數位技術的幫助，克服語言與地區的隔閡，讓更多人能從不同角度去認識地球科學，窺見地形地貌的時間演變。網站中的資料不僅能滿足我們的好奇心，更能作為 K12 教育工作者們的參考資料，為教育工作者提供強大的資源後盾，期分享資源並貢獻教育使命之心力。

相關連結

1.Teach the Earth 計畫成果(資料來源: Teach the Earth portal)

2.NAGT 發展計畫(資料來源: 美國 Science Education Resource Center)

3.地形學課程架構(資料來源: Teach the Earth portal)

4.河流地貌教學影片(資料來源: Teach the Earth portal)

5.沉積地質學(資料來源: Teach the Earth portal)

6.GoogleEarth 教學應用(資料來源: Teach the Earth portal)

參考文獻

1. Gough, S. 2007. River geomorphology videos. DVD. Little River Research & Design, Carbondale, IL; www.emriver.com

➢ (二三)應用衛星影像最容易被誤解的事-空間解析度

近年來，衛星或空載機具的遙測應用如雨後春筍般的蓬勃發展，不論是可見光的光學影像應用，或是多光譜的各式分析等，已漸漸的成為普遍且成熟的技術。而衛星影像隨著技術的快速發展，其解析度越來越高，也幫助各單位的業務可以更精準的分析及判斷，例如在水土保持局的**巨量空間資訊系統 (BigGIS)** 上即可直接瀏覽到空間解析度為 0.5 m 的 **Pléiades 衛星** (圖 1)。

在**遙測 (Remote sensing)** 領域，若要對衛星影像資料進行相關的應用分析，應先瞭解**空間解析度 (Spatial resolution)** 之定義。然而，空間解析度可細分為**地面分辨距離 (Ground Resolved Distance, GRD)**、**地面樣本距離 (Ground Sample Distance, GSD)** 和**影像像素大小 (Pixel size)**。

為了能讓讀者您能一起踏入遙測的領域，本期電子報將簡單的介紹衛星在取像時的 GRD 和 GSD 計算原理，並說明最被廣泛使用來代表空間解析度的 Pixel size 取樣方式，作為未來各式遙測分析的基礎。



圖 1、衛星影像解析度差異示意圖 (左圖：Pleiades (0.5 m)、右圖：Sentinel-2 (10 m)) (BigGIS)

衛星視野角與飛行高度決定 GRD

一般來說，衛星的信噪比 (Signal-to-noise ratio) 及瞬間視野角 (Instantaneous Field of View, IFOV) 受限於其所搭載的相機或感測器的硬體設計。衛星進入規劃的飛行軌道後，可藉由飛行高度 (H) 和 IFOV 間關聯得到地面解析度單元 (Ground Resolved Cell, GRC) 的大小，GRD 則為每個 GRC 的直徑長度。其中，若 GRC 的面積或 GRD 越大，表示空間解析度越低。舉例來說，在相同的飛行高度下，若 IFOV 的角度越大，則得到的 GRC 越大，意即 GRD 也越大，其所得到的空間解析度則越低(圖 2)。

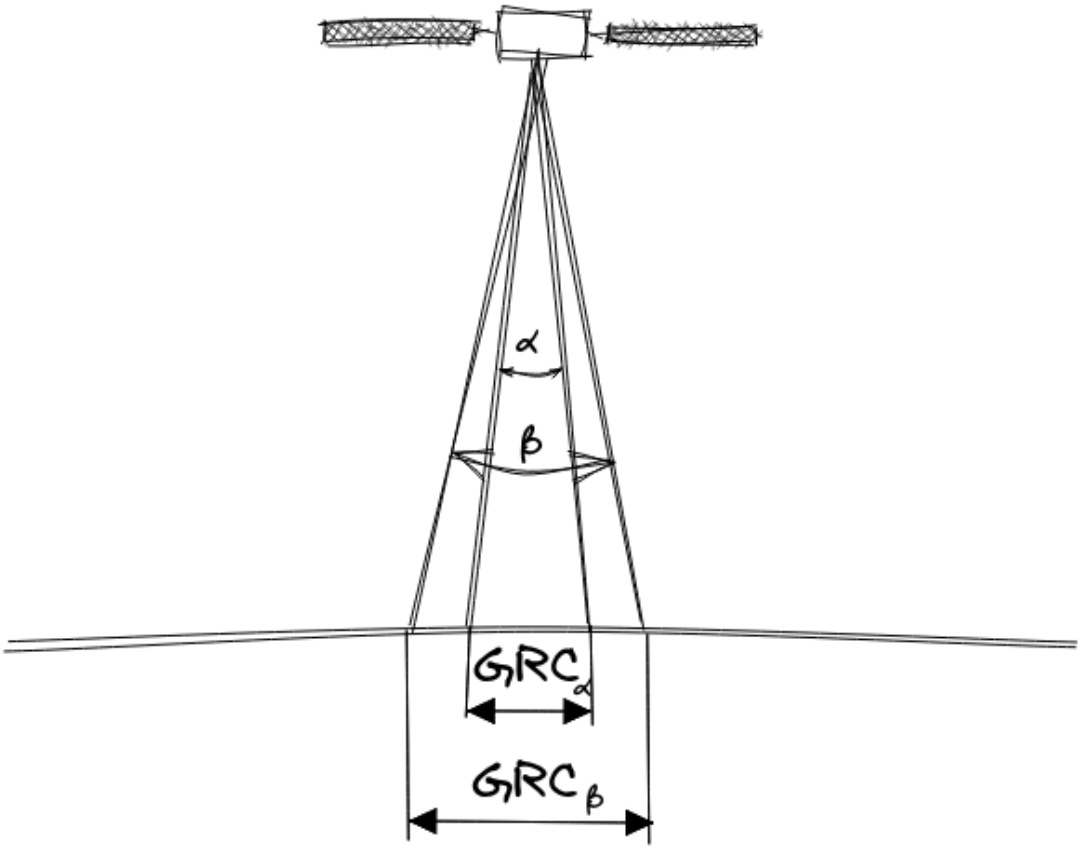


圖 2、光學衛星成像系統中兩個探測器的 IFOV 示意圖 (2022 Sinergise)

推掃式成像決定 GSD

大部分衛星以橫向陣列方式排列其所搭載的感測器單元，衛星在軌道上移動時，對地球表面進行推掃式成像 (Push-broom)(圖 3)，每個條帶寬度取決於陣列中感測器單元排列的數量、IFOV 和衛星飛行高度。

GSD 代表地面上兩個 GRC 中心點間的距離，可藉由感測器陣列及其 IFOV 設計所得到。在衛星的理想設計情況下，每個相鄰的感測器單元在地面上形成的 GRC 不會重疊，也就表示大部分的 GRD 會等於 GSD (圖 4)。

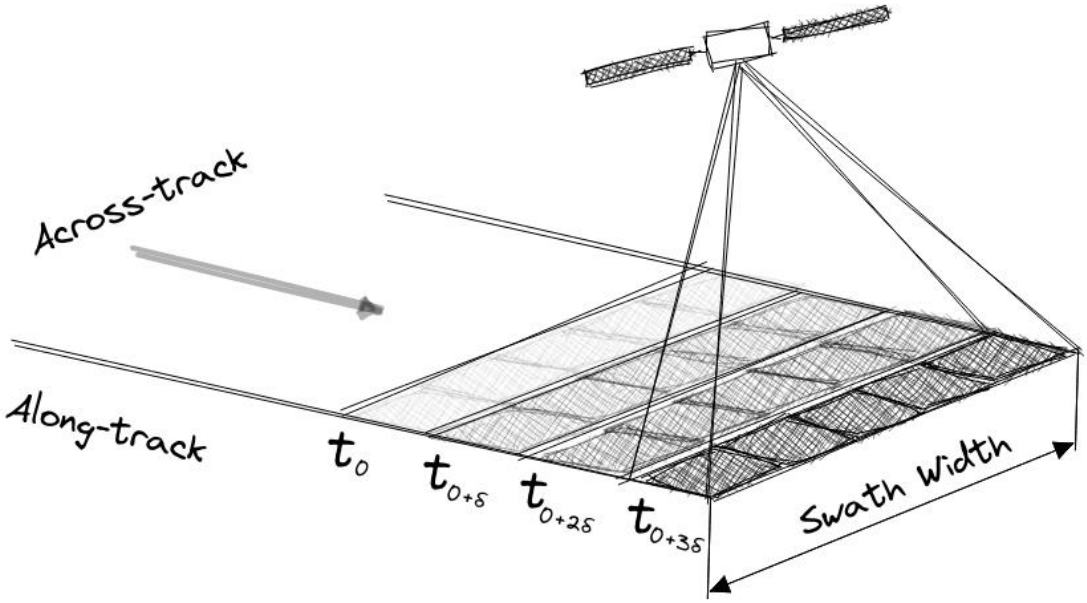


圖 3、感測器排列方向垂直衛星飛行軌道以推掃形式獲取圖像 (Push-broom) 示意圖 (2022 Sinergise)

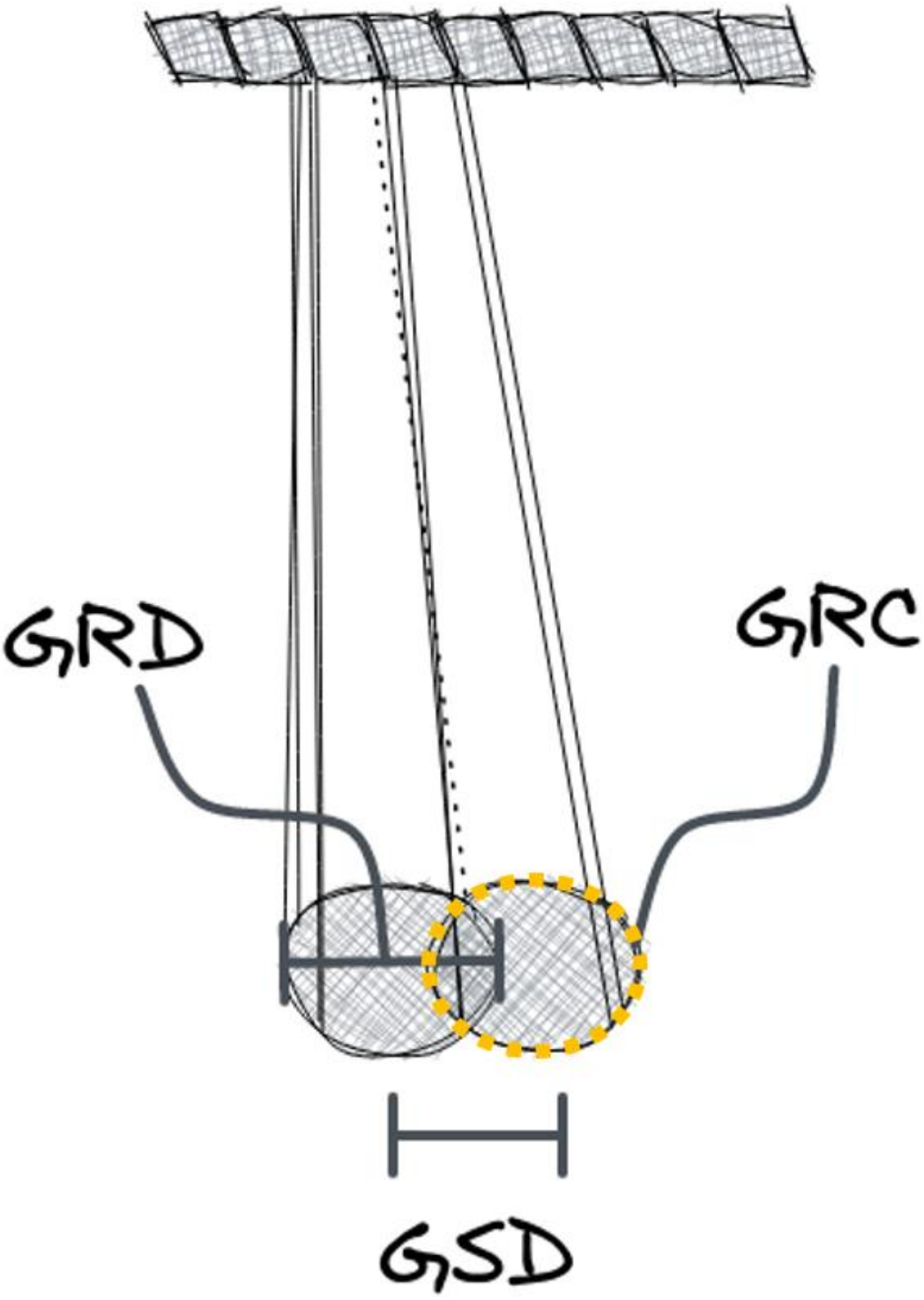


圖 4、GRD 和 GSD 示意圖 (2022 Sinergise)

然而，由於地球不是正球體，且大部分商業衛星在掃描地表時與地面間皆帶有夾角，因此衛星影像報表上所列出的 GSD 數據，通常是以衛星在側視地面時

(Off-Nadir)，每個 GRC 對應到的地面大小來表示。而 GSD 越小，即代表該衛星在地面上採樣的空間頻率較高，亦表示空間解析度越高 (圖 5)，相同 GSD 但不同 GRD 的影像比較如圖 6。

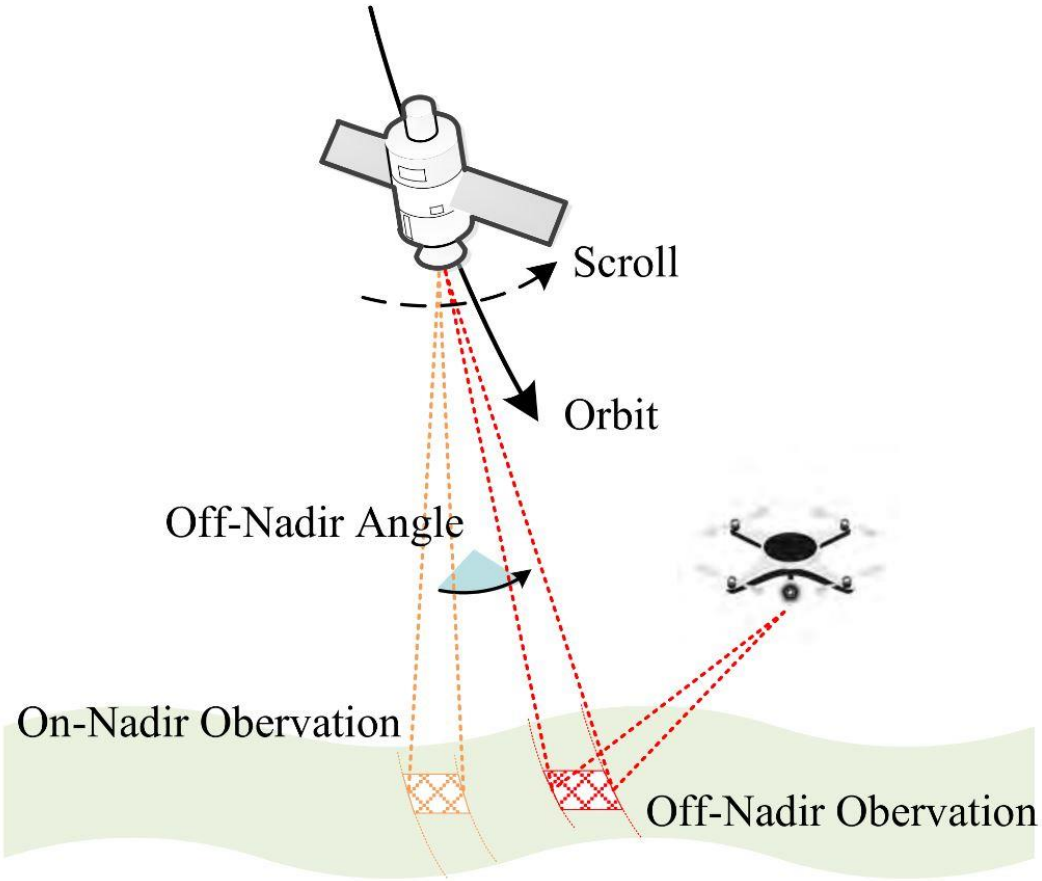


圖 5、Off-Nadir 示意圖 (Shen et al., 2021)

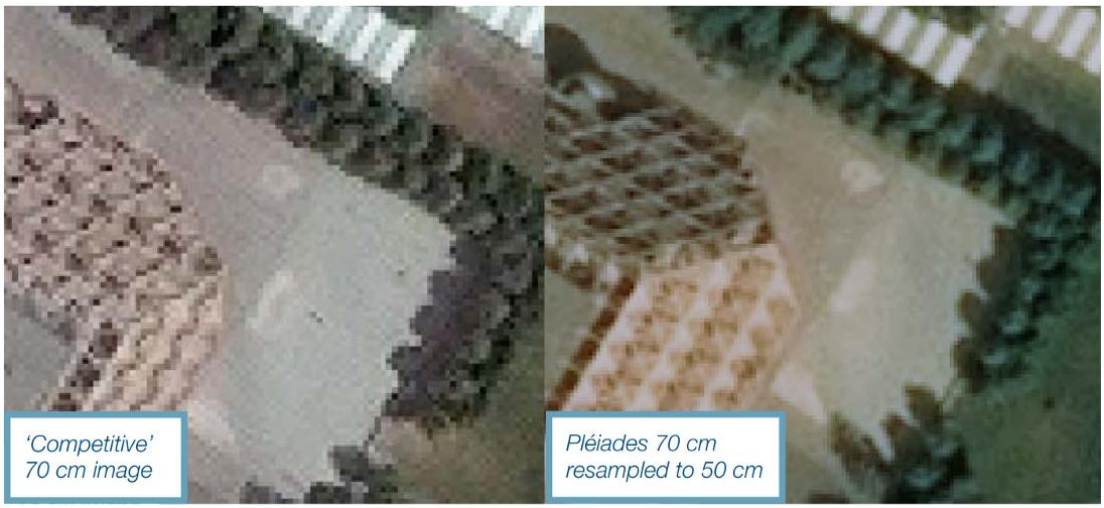


圖 6、比較相同 GSD 但不同 GRD 的影像 (Pleiades)

最常見的空間解析度- Pixel size

各個商用衛星影像公司為了使其衛星影像不受前述提及的衛星視角和取像模式變化的影響，同時也要滿足使用者應用其影像的容易性，通常會產製相同網格大小的影像。各個衛星影像提供者透過對原始衛星影像重新採樣和投影，再根據各項分析需求將每個網格處理成固定的大小，並標註其影像之產製規格。因此，Pixel size 通常小於或等於 GSD，以 Pléiades 為例，該衛星的 GSD 為 0.7 m (Panchromatic, PAN)、2.8 m (Multi-spectral, MS)，而產品報告的 Pixel size 則為 0.5 m (PAN)、2 m (MS) (圖 7 及表 1)。

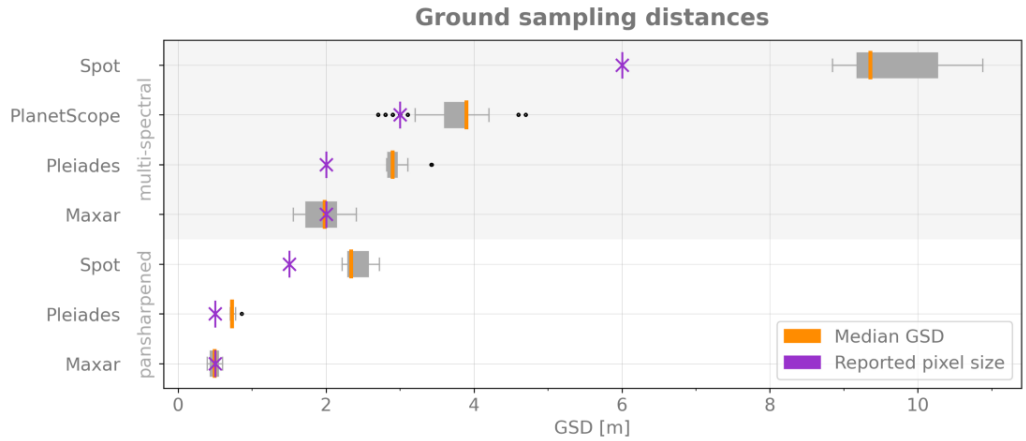


圖 7、不同商業衛星的 GSD 與像素大小 (EO Research)

項目	SPOT-6/7	Pléiades	WorldView-2	FORMOSAT-2	FORMOSAT-5
感測器種類	光學	光學	光學	光學	光學
軌道種類	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步	太陽同步
軌道高度 (km)	694	694	770	891	720
軌道傾角 (度)	98.2	98.2	97.8	99.1	98.28
軌道週期 (min)	98.8	98.79	100.2	102.8	99
成像方式	Push-broom	Push-broom	Push-broom	Push-broom	Push-broom
取樣方式	同步取樣	同步取樣	同步取樣	同步取樣	同步取樣
焦距 (m)	3.76	12.905	13.3	2.905 ± 0.023	3.6
最大側視角(度)	45	47	40	45	45
FOV (deg)	~4.125	1.64	1.28	1.5	1.91
每行之CCD數	PAN: 40000	PAN: 30000	PAN: 35000	PAN: 12000	PAN: 12000
	MS : 10000	MS : 7500	MS : 9300	MS: 3000	MS: 6000
像幅寬度 (km)	60	20	16.4	24	24
空間解析度 (m)	1.5 (PAN)	0.5 (PAN)	0.46 (PAN)	2 (PAN)	2 (PAN)
	6 (MS)	2 (MS)	1.8 (MS)	8 (MS)	4 (MS)
時間解析度 (day)	1	1	3.7	1	2
光譜解析度(μm)	PAN 0.455 ~ 0.745	PAN 0.470 ~ 0.830	PAN 0.450 ~ 0.800	PAN 0.520 ~ 0.820	PAN 0.450 ~ 0.700
	MS 0.455 ~ 0.525 0.530 ~ 0.590 0.625 ~ 0.695 0.760 ~ 0.890	MS 0.430 ~ 0.550 0.500 ~ 0.620 0.590 ~ 0.710 0.740 ~ 0.940	MS 0.450 ~ 0.510 0.510 ~ 0.580 0.630 ~ 0.690 0.770 ~ 0.895	MS 0.450 ~ 0.520 0.520 ~ 0.600 0.630 ~ 0.690 0.760 ~ 0.900	MS 0.450 ~ 0.520 0.520 ~ 0.600 0.630 ~ 0.690 0.760 ~ 0.900

表 1、常見的高解析度衛星參數比較表 (中央太遙中心)

台灣也未缺席的全球衛星校準矩陣網

世界各地都有設置衛星尺度可見的人造大型校準點來驗證空間解析度和地理位置，可透過衛星所拍攝的影像來比對設計規格，藉此校準該衛星各項參數，驗證衛星所拍攝的影像符合商業及研究規格。美國地質調查局 (U.S. Geological Survey, USGS) 已在其網站上公開世界各地的校準場位置，台灣也不例外。澎湖校準場位於澎湖本島上的退役機場跑道邊緣 (N：23.519；E：119.583)，該目標由四個邊長為 30 m 的黑白正方形交錯組成，由正北偏東一度排列，海拔高度為 22 m (圖 8)。此外，校準場也能進行精準的光譜或對比度的校正，如中國包頭市的校準場，場內設置扇形及各個方向的條形目標，增加在空間解析度的分辨能力，再透過調整黑、灰及白色的反射率對比度，達到大部分之分析與校正需求。



圖 8、衛星校準站 (左：台灣澎湖縣、右：中國包頭市)(USGS)

利用校準場分析衛星影像的統計資料

為了獲得與統計相關的結果，需要在相同的條件下重複拍攝同一個位置。以中國包頭市校準場影像為例，擷取同一位置的 Pléiades 與 SPOT 6 衛星的 PAN 和 RED (MS) 波段的影像 (圖 9)，再藉由放大四幅影像的校準目標 (圖 10)，比對該目標的實際尺寸及衛星的像素等分析，可得到四幅影像的影像參數統計表 (表

2)。根據表 2 顯示，GSD 在衛星飛行的軌道上和橫向的軌道上有所不同，也顯示了 Pixel size 低於 GSD。



圖 9、中國包頭市校準站同一位置衛星影像 (上：Pléiades；下：SPOT 6)

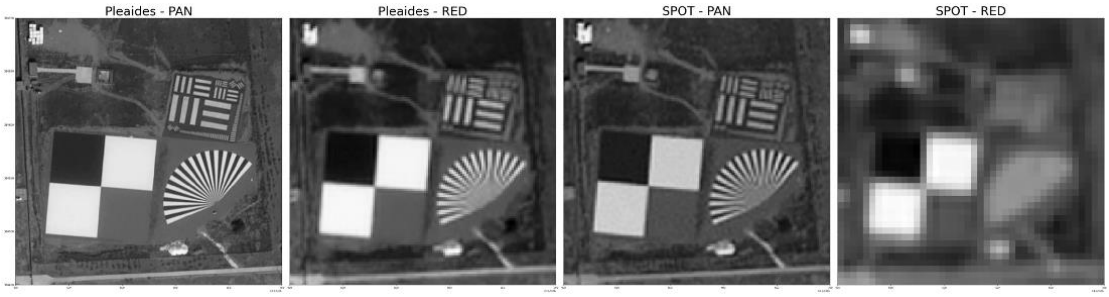


圖 10、放大目標的 PAN 和 MS 影像 (左：Pléiades；右：SPOT 6)

Data source		GSD Across	GSD Along	Pixel size
Pleiades	PAN	0.72	0.71	0.5
	MS	2.86	2.83	2
SPOT	PAN	2.28	2.36	1.5
	MS	9.15	9.45	6

表 2、圖 10 中 Pléiades 和 SPOT 6 影像參數統計表

總結

衛星影像的空間解析度包含 Pixel size、GSD 及 GRD。其中，Pixel size 為重新取樣後的成果，通常不與衛星搭載感測器的空間解析度相等；相對來說，後兩者更適合作為衛星影像的空間解析度的表示數據，但產製報告較少詳列。

大型的衛星尺度人造校準場分布於世界各地，可用以校正衛星影像內各種光譜的解析度、對比度、色調及光譜數據。**有興趣的讀者也可以參考 USGS 網站上的各地校準場坐標，試著在電子地圖上找尋。**

相關網站及應用成果連結

1. **The most misunderstood words in Earth Observation (資料來源: EO Research)**
2. **EnMAP Research (資料來源: GFZ)**
3. **User Guides (資料來源: intelligence-airbusds.com))**

4. **Imagery Leadership - Off-Nadir (資料來源: maxar.com)**
5. **Spatial Sites Catalog | EROS CalVal Center of Excellence (資料來源: usgs.gov)**
6. **常用衛星比較| 太空及遙測研究中心 (資料來源: ncu.edu.tw)**

參考資料

1. Orych, A. (2015). REVIEW OF METHODS FOR DETERMINING THE SPATIAL RESOLUTION OF UAV SENSORS. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 40.

2. Shen, L., Lu, Y., Chen, H., Wei, H., Xie, D., Yue, J., ... & Jiang, B. (2021). S2Looking: A satellite side-looking dataset for building change detection. Remote Sensing, 13(24), 5094.

3. Vijayaraj, V., Younan, N., & O'Hara, C. (2006, July). Concepts of image fusion in remote sensing applications. In 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (pp. 3798-3801). IEEE.

➢ (二四)河川再生的實現-近自然生態工法技術

古代重要文明大多起源自河流流域，如尼羅河文明、黃河文明等。由於河川是人類生存發展所需之重要空間與資源，隨著人口的成長與聚集，人類開始進一步對河川和洪氾區作更高強度的使用，以致對河川及周圍環境進行過多干預。當河川被強行拉直、變窄或河岸兩側變成剛性構造時，使得河川流動速度增加、入滲減少，且河川和洪氾區之連結被迫中斷後，豐富的自然區域已成為單調的渠道。

近年來，人們逐漸意識到上述問題，開始進行河川再生的工作，本期電子報將介紹德國利用近自然生態工法技術實現河川再生的方法(圖 127)，並介紹台灣水土保持以近自然生態工法施作的實際案例成果。



圖 127　德國 Oeventrop (North Rhine-Westphalia) 在 2018 年營造一條多樣性豐富的河段，也為當地居民提供了河川通道

德國進行河川再生的原因與實施方法

德國在 2016 年的歐洲水框架指令(WFD)-第六次執行報告 採取相關(圖 128)措施，其中水文形態之改進占最大比例（41.5%）。在實施恢復措施時，德國開始依賴與當地利害關係人的合作和自願的行動，並加強當地利害關係人對河川再生的認識。

河川再生的目的是使河川恢復近自然狀態，對於每一項恢復措施，都會將自然條件與實務可行的限制條件進行比較，並設定現實的發展目標，強調遵循「讓事物自然發展而不是翻新」的原則。

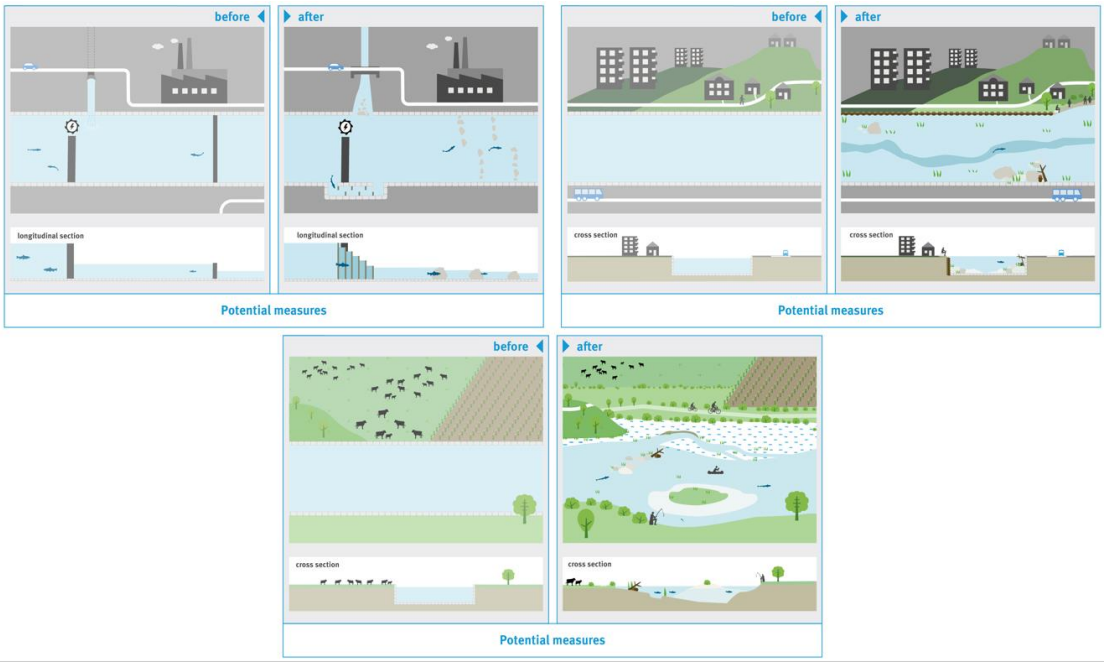


圖 128 河川再生時參考自然條件與可行條件【當渠道障礙過高時(左上)、當渠道兩側無法改變時(右上)、當渠道可以進行大幅度變化時(下)】

河川再生是一項複雜的工作，必須有明確的恢復目標，平衡不同利益需求，並考慮各種法令規範；許多河川再生工作，成本可能非常高，因此德國和歐盟提供了大量的資助和融資計畫，另外也考慮基金會和贊助商的加入，通過多種融資工具的巧妙組合，有些再生項目可以獲得高達 100% 的融資。

河川再生推動時，往往涉及政府機關、水維護協會、非營利組織、當地居民

等利害關係人，如遇到用地問題而導致衝突時，執行機構會在規劃階段與各方進行溝通，給予所有利害關係人參與的機會，以促進各方相互理解，創造接受度，並為所有人提供規劃保障(圖 129)。

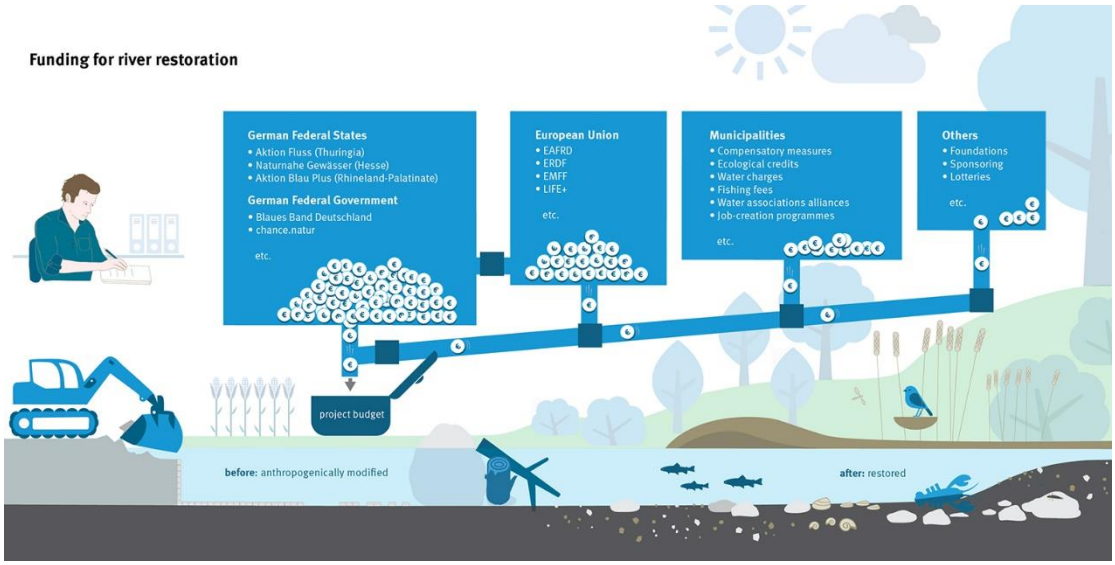


圖 129 德國對於河川再生的進行 由歐盟與在地協會到在地利益關係者共同投入資金一起努力

德國施作近自然生態工法項目與實際案例成果

為了實踐河川再生的目標，德國利用自身豐富的林產與石材資源發展多樣的近自然生態工法，本篇以德國 Baden-Württemberg 州環境研究所出版的【Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern(河道生物工程施工方法)】內容為例，介紹以下幾種常用的近自然生態工法:

柳樹枝護岸與雲杉編柵組合法(圖 130)

->方法:利用柳樹枝條鋪設坡面，並用雲杉木樁與石頭進行固定

->用途:河岸保護、水源涵養



圖 130 柳樹枝護岸與雲杉編柵組合 【施工前(左上)、施工中(右上)、施工後 3 年 (下)】

枯木樹根放置法(圖 131)

->方法:河床放置枯木樹根，並用鋼繩固定

->用途:營造灘地、引導流向、創造魚類棲地



圖 131 枯木樹根放置法 【施工前(左上)、施工後 5 年(右上)、施工後 10 年 (下)】

木格框護岸法(圖 132)

->方法:利用柳樹的木頭堆疊，並用枝條綑綁，形成護岸

->用途:河岸防坍、景觀營造、魚類棲地營造



圖 132 木格框護岸法 【施工前(左上)、施工後(右上)、施工後 1 年 (下)】

椰殼纖維網保護法(圖 133)

->方法:利用椰殼纖維網鋪設於河岸，並用木條固定

->用途:防止河岸侵蝕、創造河川與洪氾區連結、營造自然景觀



圖 133 椰殼纖維網保護法 【施工前(左上)、施工中(右上)、施工後 2 年 (下)】

木樁獨立法(圖 134)

->方法:利用木樁固定樹根於河床

->用途:在河床中重新創造灘島、水質過濾、創造生物棲地



圖 134 木樁獨立法 【施工前(左上)、施工中(右上)、施工後 3 年 (下)】

除上述舉例之工法，【Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern(河道生物工程施工方法)】中還有不同形式的工法類型可以參考，其中包含工程案例的基地地質、地形等基礎資料(詳見參考文獻)；另外亦可參考德國聯邦環境署列舉依上述工法進行整體規劃與民眾參與的實際案例。

台灣水土保持施作近自然生態工法的實際案例成果

台灣雖然與德國的地文、水文、社會條件不同，雨量豐沛且地形坡陡流急，天然災害類型大相逕庭，但於施作治山防災工程時，仍會在保護保全對象安全的基本條件下，努力嘗試在水土保持工程中加入近自然生態工法的元素，期能為環境盡一份心力，以下列出相關案例成果:

以漿砌石為護岸基礎且依照河岸逐步調整-南投縣茅埔坑濕地公園(圖 135)



圖 135 南投縣茅埔坑濕地公園 【施工前(左)、施工後 21 年 (右)】

以分散型落差工為概念施作自然固床工-花蓮縣白鮑溪中游段改善工程(圖136)



圖 136 花蓮縣白鮑溪中游段改善工程

兼顧安全與自然環境的隱藏式工法-北河村萬安橋上下游野溪整治工程(圖137)



圖 137 北河村萬安橋上下游野溪整治工程

➢ (二五)崩塌土砂量體估算實作示範-以災後 UAV 建模與災前 DEM 為例

坡地災害往往帶來大量土砂堆積，故如何快速量化土砂量體為後續災害治理的關鍵要素。以往崩塌災害發生時，受限於位置偏遠，無法立即掌握土砂災情，現今受惠於政府開放資料、遙測成果與工具的普及，以及 UAV 配合 3D 建模及地理資訊技術的進步，已可快速釐清土砂災害之範圍及量體，提供後續坡地治理參考。本期電子報將以 111 年 10 月 17 日尼莎颱風期間發生於汐止區鵠鵠崙的崩塌地為案例作示範(圖 138)，如何於災後快速評估崩塌後土砂體積量體變化。

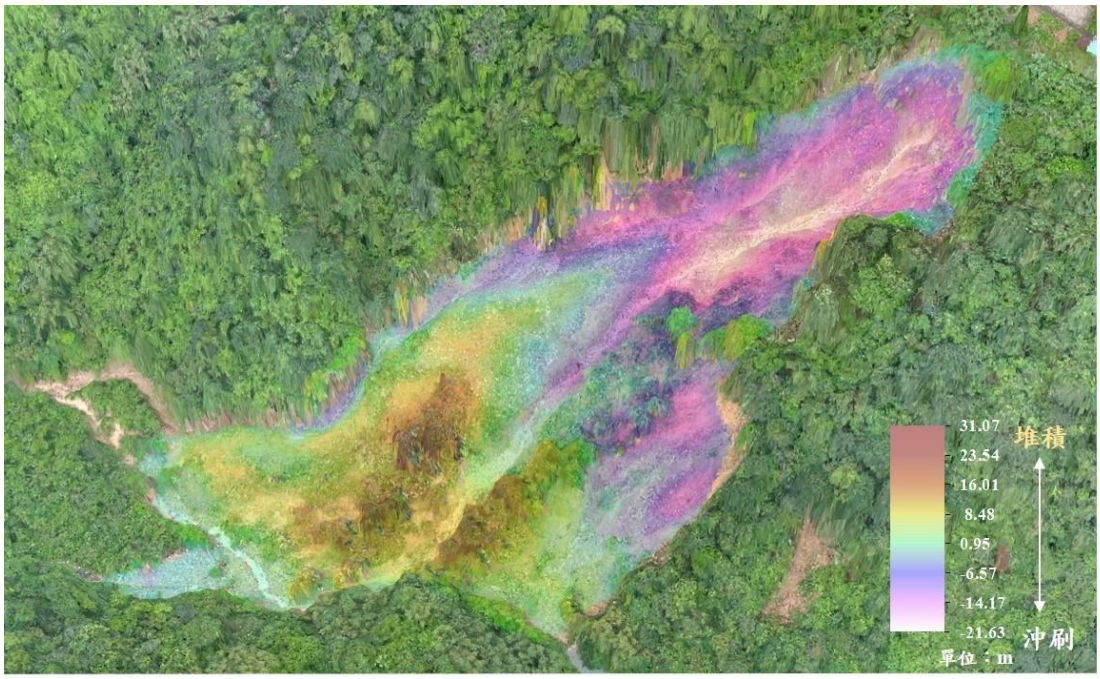


圖 138 111 年 10 月尼莎颱風後，汐止鵠鵠崙崩塌沖淤圖

崩塌地圖層產製

行政院農業委員會水土保持局所開發之巨量空間資訊系統 BigGIS(https://gis.swcb.gov.tw/)，已內建各式最新的多元航遙測影像可供瀏覽及下載，如圖 139~圖 141，圖資後續可利用 ArcGIS 及 QGIS 等地理資訊軟體進行分析，如圖 142 所示。



圖 139 BigGIS 巨量空間資訊系統



圖 140 查詢崩塌位置於指定日期內可使用之多元航遙測影像圖層

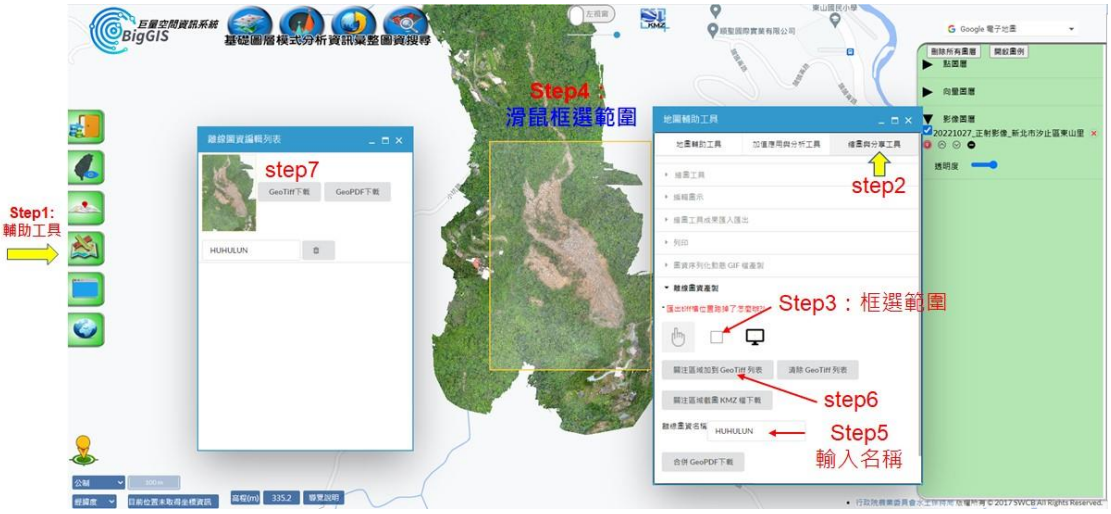


圖 141 選擇要產製之崩塌地範圍圖

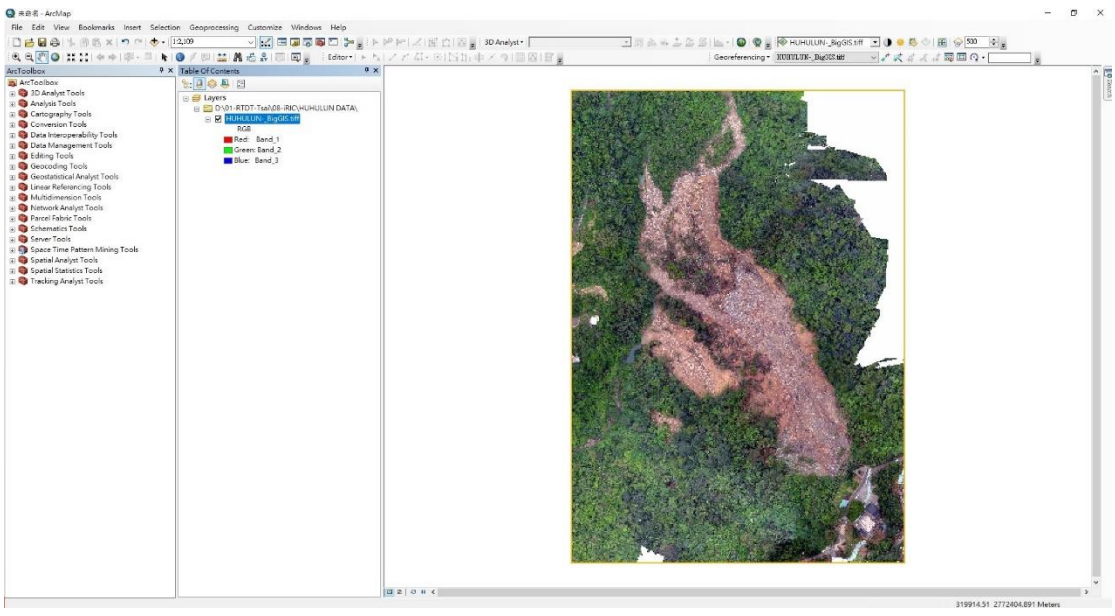


圖 142　由 ArcMap 軟體加入由 BigGIS 平台所下載之崩塌地底圖

崩塌邊界劃設

為了分析不同時期 DEM 之崩塌量，需要有共同之邊界，利用 ArcMap 繪製崩塌邊界的 shapefile 檔(圖 143)。

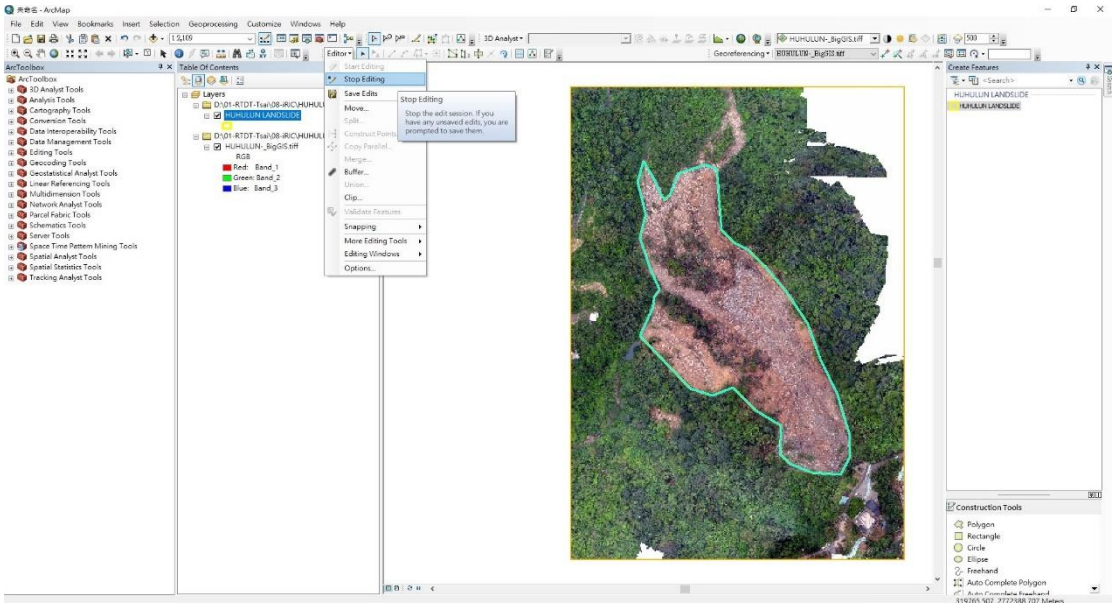


圖 143 以 ArcMap 軟體中多邊形 Shapefile 繪製崩塌邊界

建立前後期相同網格大小之數值地形高程

前期(災前)之數值地形高程採用目前於政府資料開放平台(https://data.gov.tw/)由內政部提供之全臺灣 20 公尺網格數值地形高程資料(DEM)進行分析使用。為了解崩塌地前後期之地形高程變化，災後通常使用無人飛行載具拍攝並快速建模，產製出較高解析度(如 1 米)之數值地表高程(DSM)，但這樣做就會造成兩期數值地形在進行比較時，會有網格大小不一致的問題。為解決這個問題，我們可將前期 DEM 重新取樣(Resample)，將 20 米網格大小之 DEM 轉製成網格大小為 1 米之 DEM，步驟如圖 144~圖 150。



圖 144 政府資料開放平台下載全臺灣各地 20 米 DEM

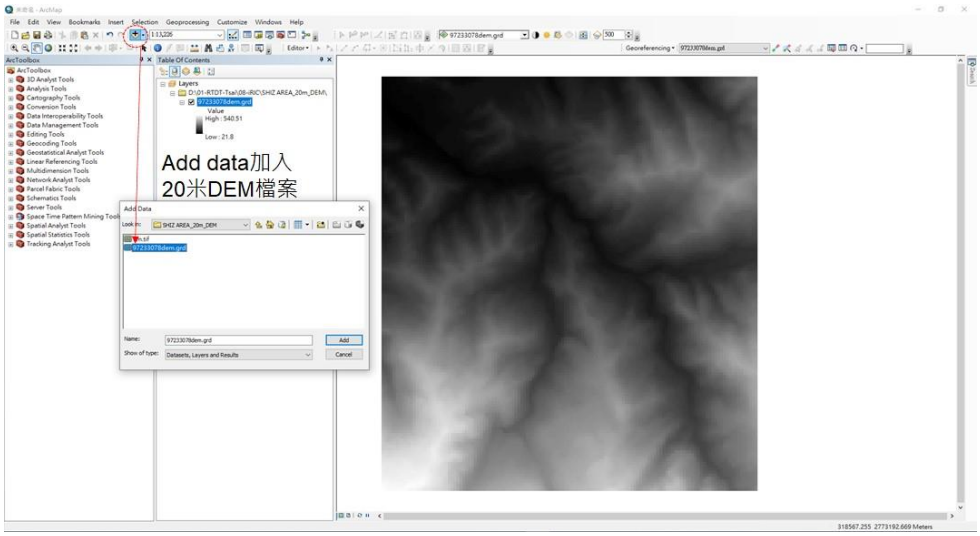


圖 145 加入 20 米 DEM，副檔名(*.tif)

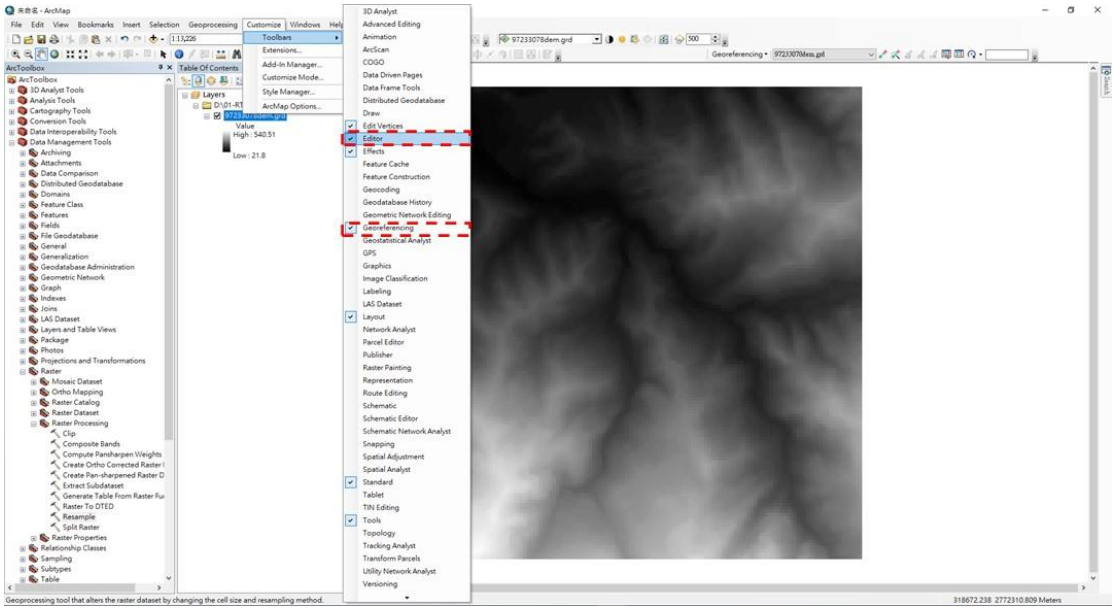


圖 146 ArcMap 工具列勾選(開啟視窗工具列 Customize->Toolbars->Editor、Georeferecing 打勾)

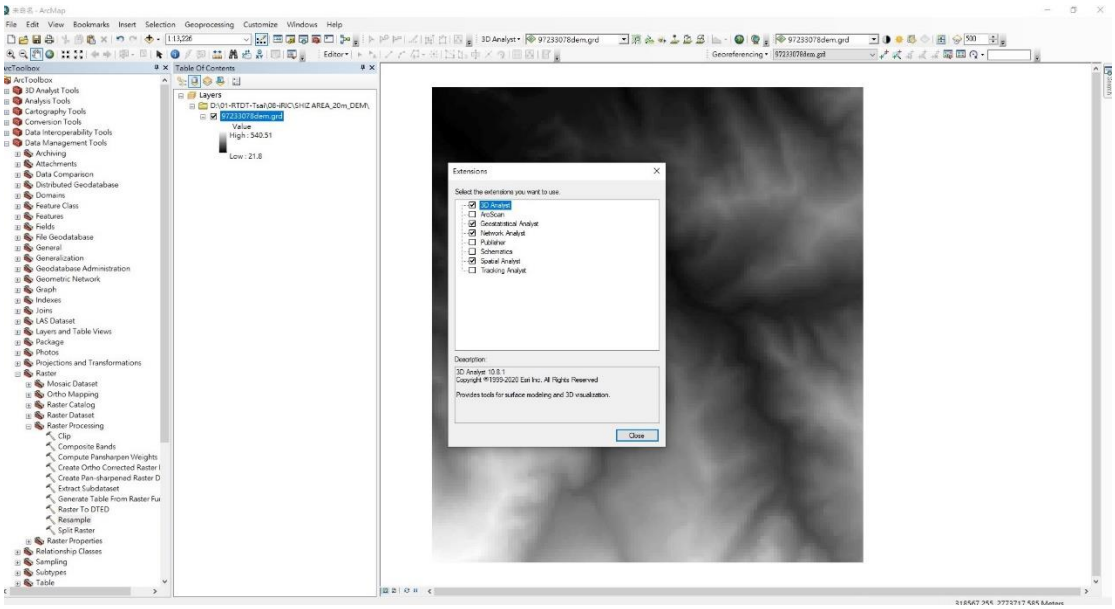


圖 147 ArcMap 工具列 Customize->Extension->將 3D Analyst、Geostatistical Analyst、Network Analyst、Spatial Analyst 打勾->Close

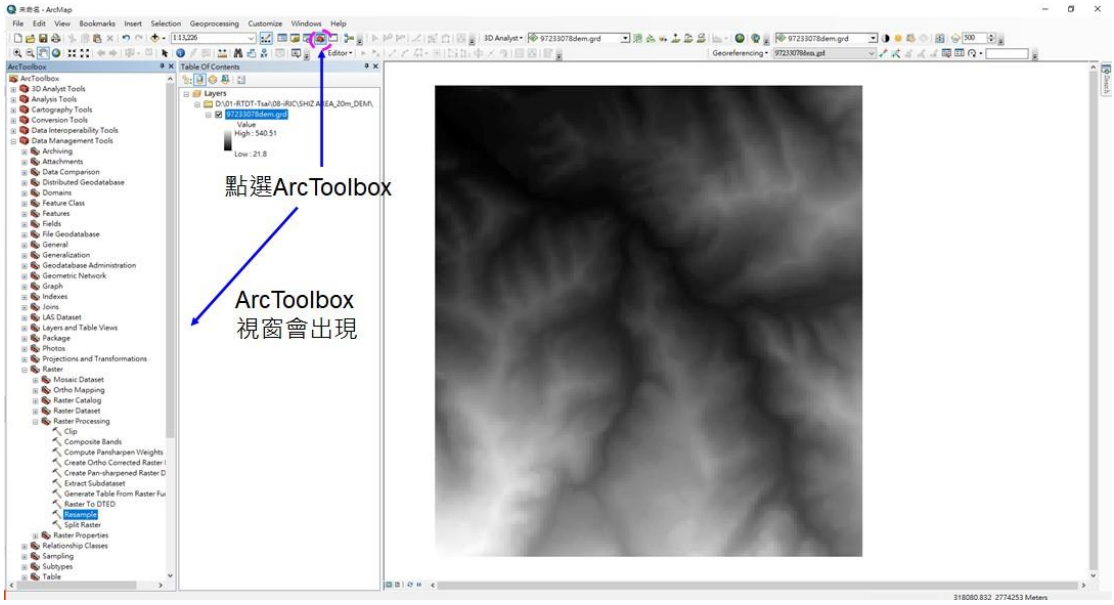


圖 148 開啟 ArcMap 中的 ArcToolbox->Data Management Tools->Raster->Raster Processing->Resample

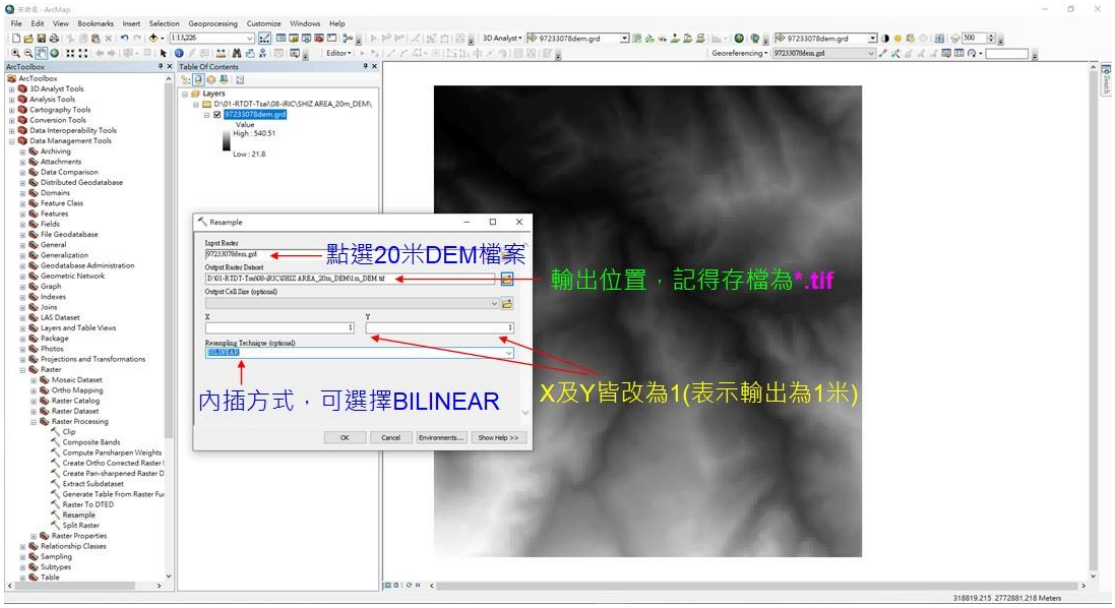


圖 149 Resample 視窗跳出後輸入欲產製之 DEM 網格大小

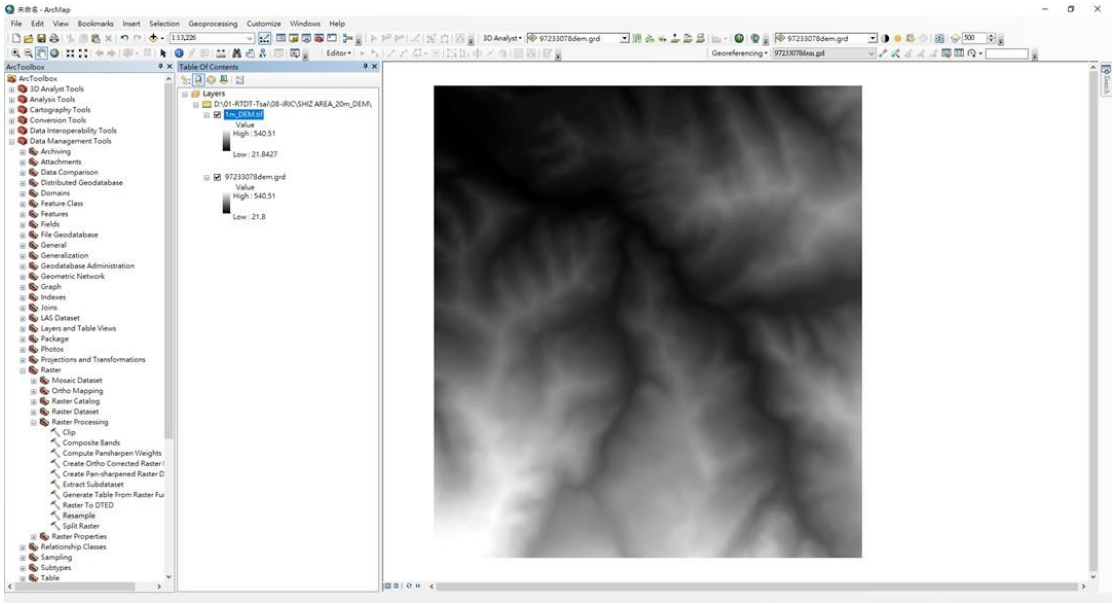


圖 150 輸出 1 米網格之 DEM

前後期共同崩塌邊界內數值地形高程萃取

為進行崩塌坡地的土砂量計算，需要有共同邊界內之 DEM 來進行計算，因此兩時期之 DEM 需藉由同一崩塌邊界進行萃取，方法說明如圖 151~圖 154。

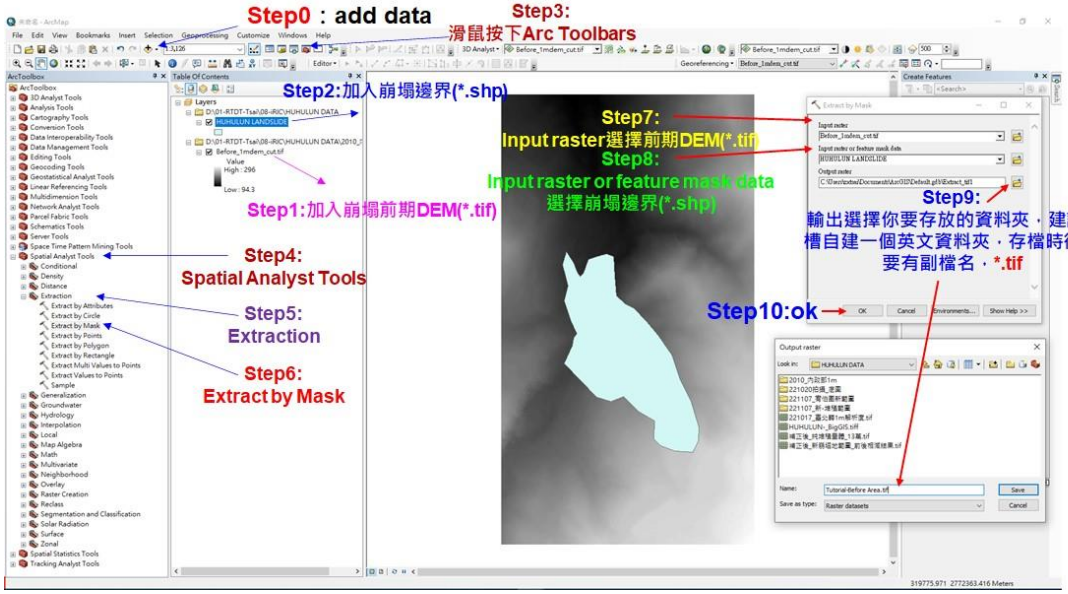


圖 151 利用 ArcMap 的 ArcToolbox 工具箱所提供之空間分析模組(Spatial Analyst Tools)的萃取(Extraction)工具將後期 DEM 配合崩塌邊界 shapefile 進行萃取

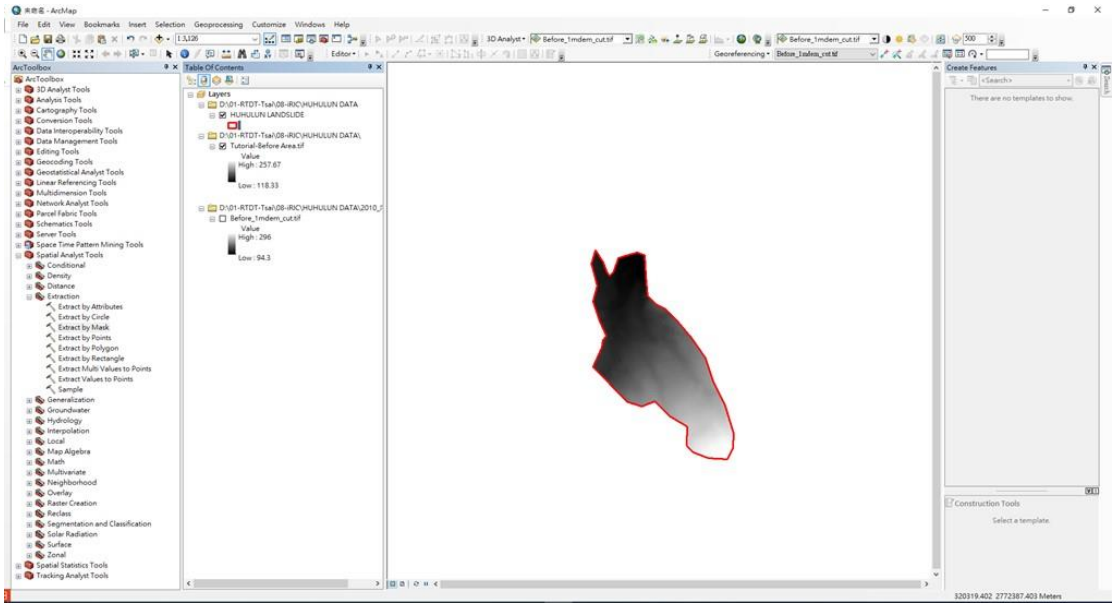


圖 152 完成前期 DEM 於崩塌邊界內之萃取

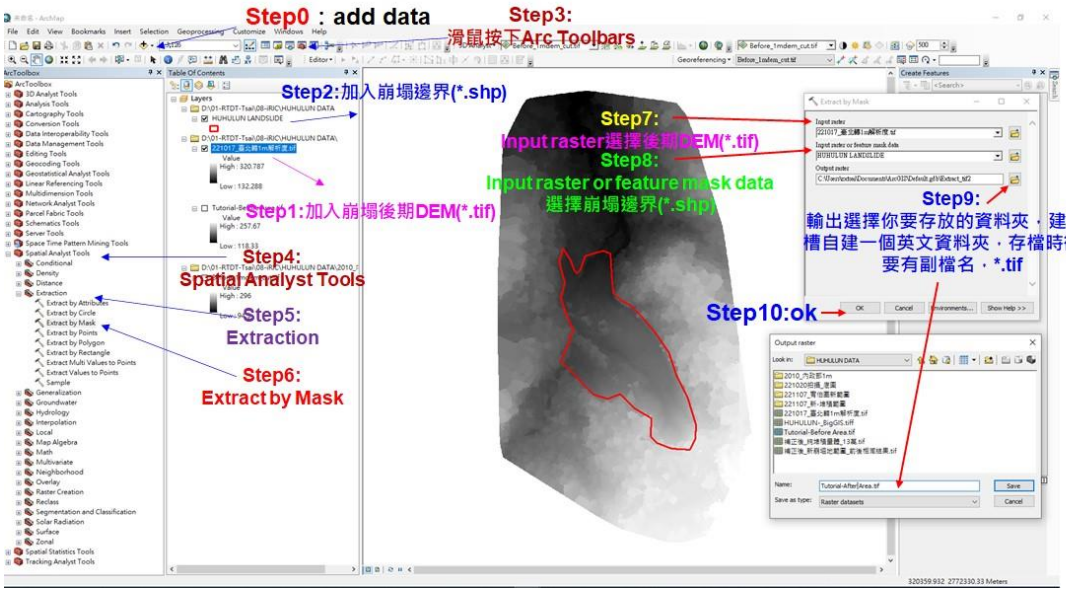


圖 153 利用 ArcMap 的 ArcToolbox 工具箱所提供之空間分析模組(Spatial Analyst Tools)的萃取(Extraction)工具將後期 DEM 配合崩塌邊界 shapefile 進行萃取

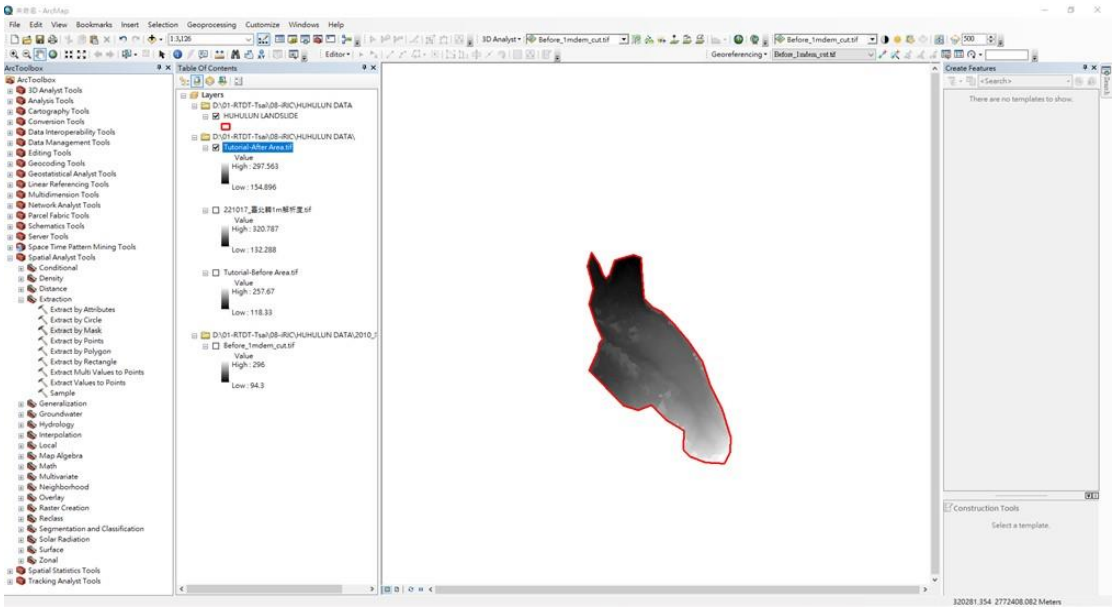


圖 154 完成後期 DEM 於崩塌邊界內之萃取

崩塌深度沖淤變化

有了兩時期共同邊界內的數值地形(DEM 及 DSM)後，利用 ArcMap 的空間分析模組(Spatial Analyst Tool)裡面的 Map Algebra 即可進行計算，如圖 155~圖 156 所示。

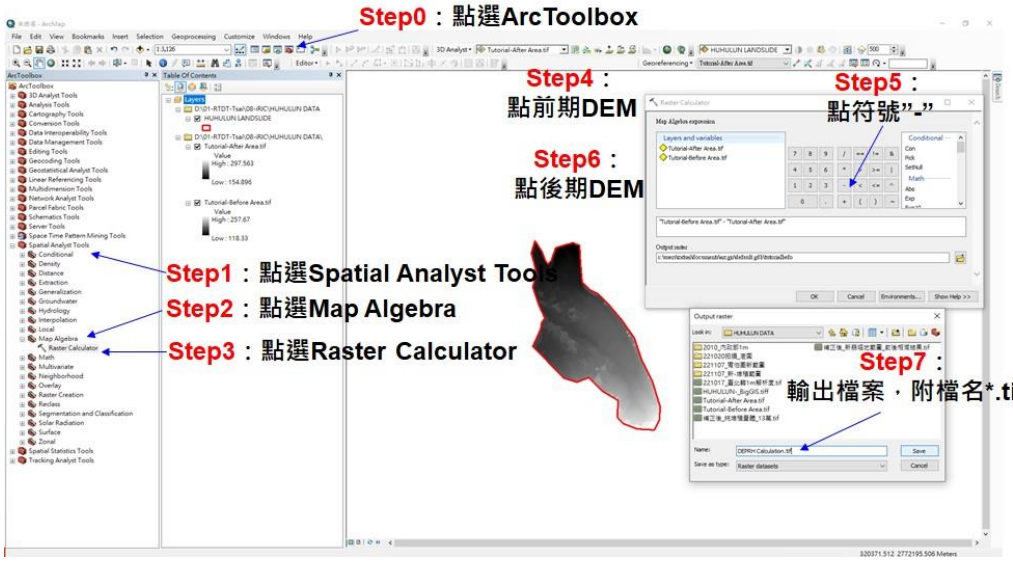


圖 155 不同時期 DEM 相減後沖淤深度計算，採用 ArcMap 軟體，開啟 ArcToolbox->選擇 Spatial Analyst Tools->Map Algebra->Raster Calculator

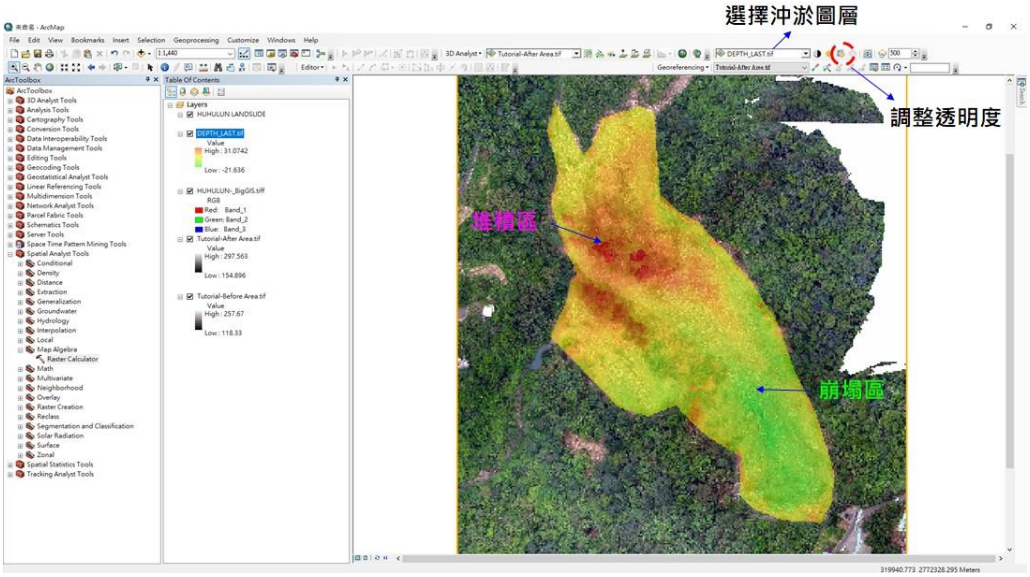


圖 156 配合底圖展示崩塌沖淤的樣貌

崩塌體積量體估算

為更進一步釐清整體崩塌後土砂變化量，可利用 ArcMap 的空間分析工具(Spatial Analyst Tools)內的 Surface->Cut Fill 模組計算前後期數值地形(DEM、DSM)體積變化量，如圖 157~圖 159 所示。

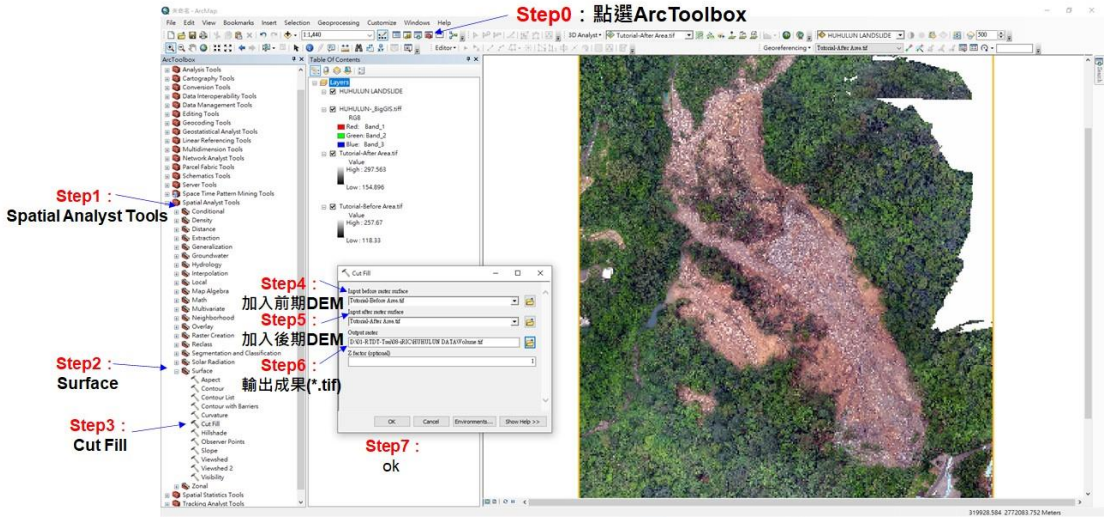


圖 157 空間分析模組(Spatial Analyst Tools)中的 Surface 裡面的 Cut Fill 模組可分析前後期 DEM 之體積變化量

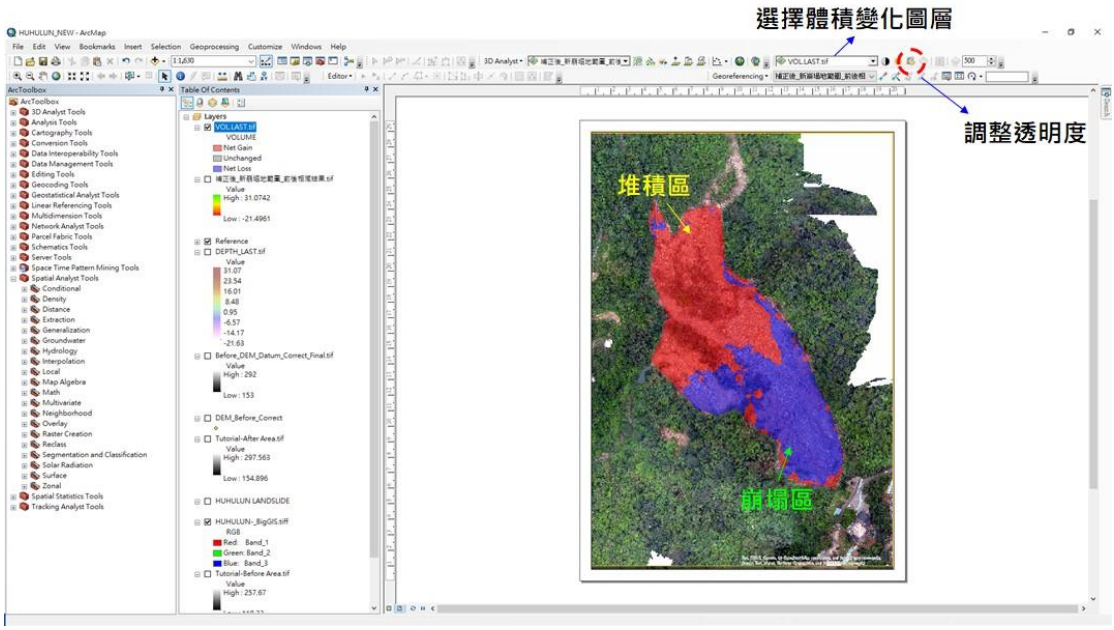


圖 158 崩塌沖淤體積展示

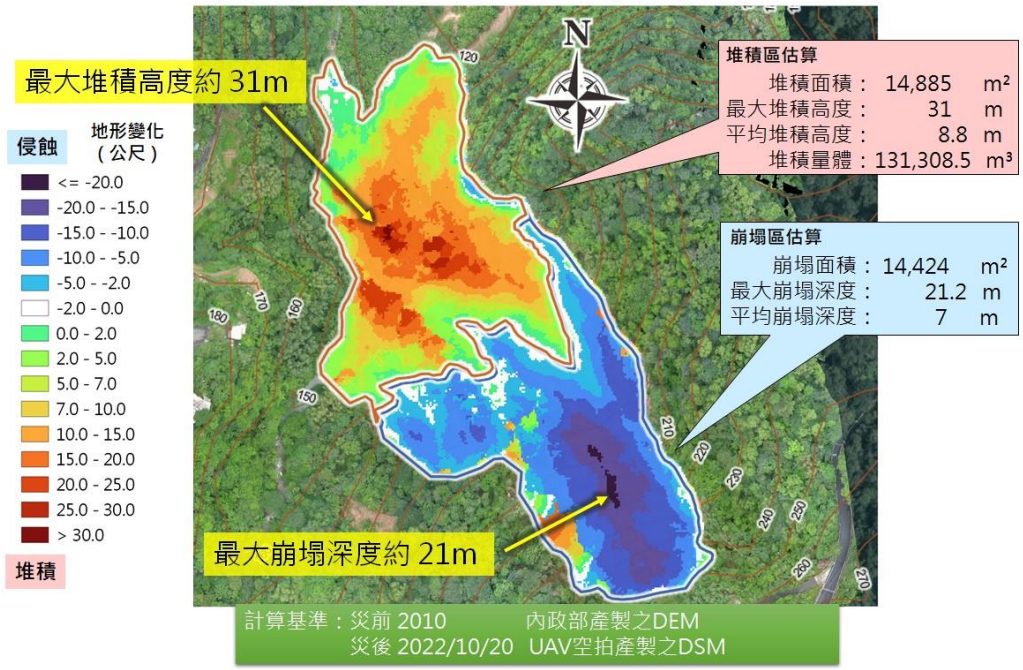


圖 159 汐止鵠鵠崙崩塌量體分析圖

總結：

1. 利用兩期數值地形高程相減進行崩塌坡地的土砂量體估算時，兩期數值地形必須要有共同崩塌邊界且網格大小也必須相同，本期電子報介紹利用 ArcMap 進行操作之流程，可供後續快速分析使用。
2. 災後 UAV 拍攝產製的 DSM，雖於崩塌裸露處其結果與 DEM 相同，但尚有植生處，如未設法扣除樹高等影響，將明顯造成相關誤差。
3. 以往崩塌發生後，人力常無法及時抵達現場，近年地理資訊技術的進步，藉由水土保持局建置之巨量空間資訊系統(BigGIS)，可快速查詢發生崩塌區域的多元航遙測影像，以確認崩塌範圍並進一步粗估崩塌量體。
4. 由於許多崩塌位於交通不便人力無法到達之處，採用無人飛行載具進行影像拍攝仍有諸多風險，例如受天氣氣候影響、電磁訊號干擾以及電池電量有限等問題，未來可朝向利用高解析度衛星影像進行 DSM 的建置，以利加速崩塌坡地的土砂量體評估。

低解析度之數值地形高程(如 20 米)並不能通過內插而產生較高解析度之數

值地形高程(如 1 米)，不同網格之數值地形高程內插，僅是為了得到相同網格大小進行計算，其仍存在一定誤差，誤差大小並不在本期內容討論範疇內。

➢ (二六)看見地球脈動，探索美國 USGS 監測案例應用

災害是大自然現象的衍生影響，也一直是人與環境共存的重要議題。藉由科技的應用、測量與觀測技術及感測器網路的整合，將能觀察與紀錄地表、水、空氣等數據。如同醫學上追蹤人體脈搏用以輔助診斷，這些災害監測提供了許多線索，能夠幫助科學家與各領域專家，進一步了解及預測各種災害事件的時間、地點、原因以及規模。而目前監測災害上有那些應用，以及能夠發展到什麼程度？本期電子報將帶各位從美國地質調查局(U.S. Geological Survey, USGS)角度，從監測廣度、資料呈現等面向，一窺其先進且擴及全球的監測能量。



圖 1、阿拉斯加火山觀測站操作室執行監測任務。來源：USGS & McGimsey, Game

USGS 的監測廣度

為因應不同的災害，USGS 監測範圍遍布陸海空，包括 3,700 座地震測站、13,500 個水體感測器、161 座火山即時監控、5 座基準冰川監測、2 顆 Landsat 觀測衛星、14 座地磁觀測所、以及 3,000 英里海岸線的觀測(如圖 2)，不僅有地底資料與地區觀測，更包含了廣域氣候與地表紀錄。

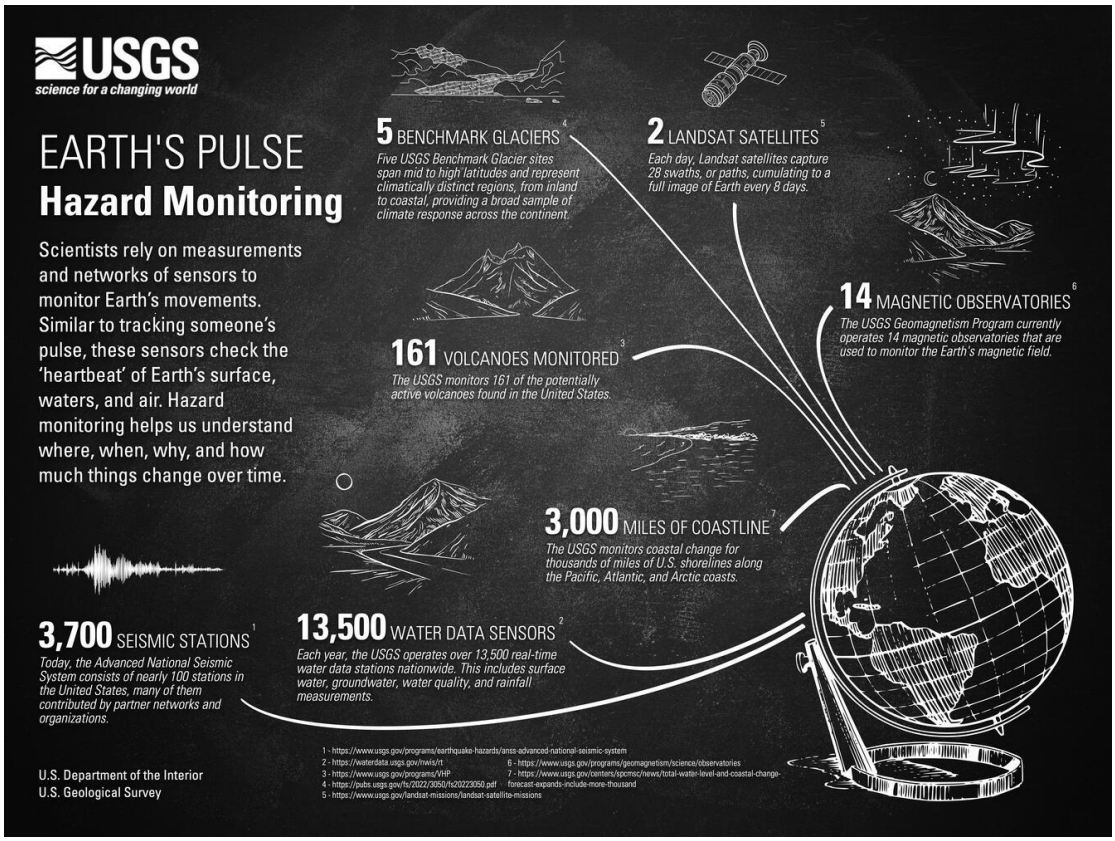


圖 2、美國地質調查所自然災害監測能力。來源: www.usgs.gov

而這些區域或全球的監測系統，都能夠互相結合，在掌握趨勢的同時，也能得到細節參數。比如 USGS 地質學家 Dan Dzurisin，藉由每年夏天所增設的現場 GPS，對俄勒岡州中部的三姊妹火山(Three Sisters Volcano ,Oregon)進行監測，同時結合全球雷達衛星的遙測資料，更完整的掌握其地表變形速度與狀態(如圖 3)。

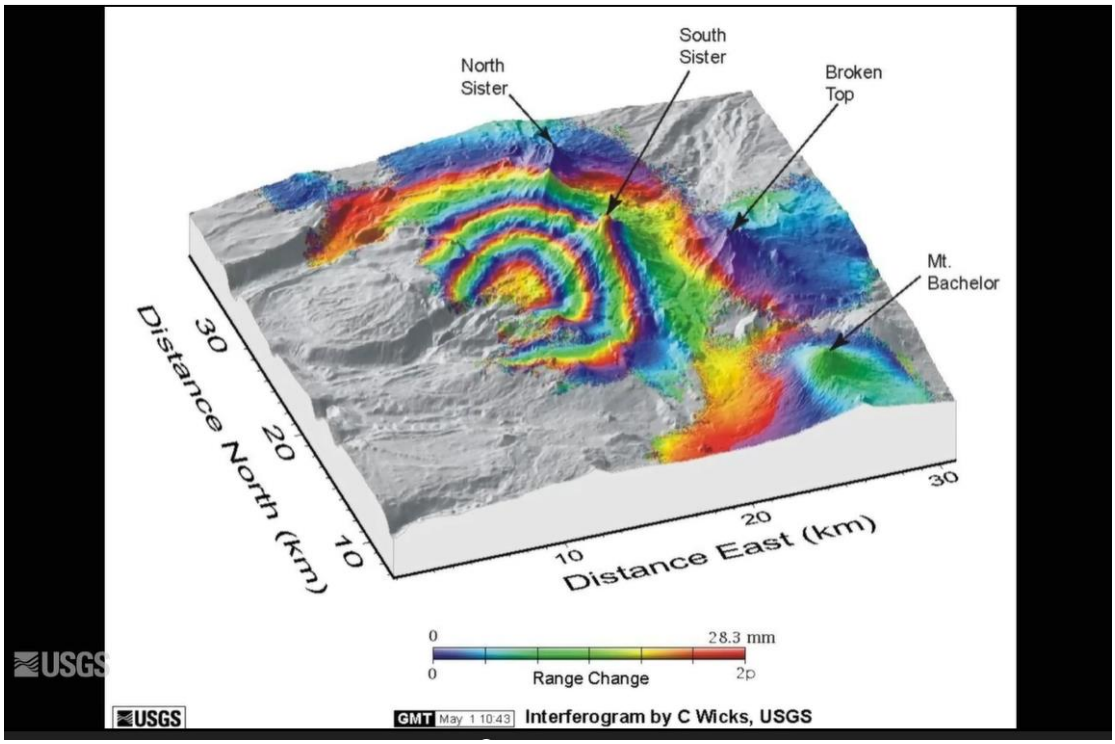


圖 3、Three Sisters Volcano 地表變化監測。來源：

https://www.usgs.gov/media/videos/tracking-uplift-near-three-sisters-volcanoes-using-semi-permanent-gps-instruments

監測數據與即時儀表

監測的數據往往由許多專有名詞及數字構成，在研究與防災之外，藉由資訊視覺化，搭配資料庫與查詢系統，將能容易使民眾了解，並清晰有效地傳遞自然環境的狀態與變化資訊，例如圖 4、5、6 所展示的地震、洪水、乾旱等位置及範圍等視覺化資訊。



圖 4、USGS 即時地震資料。來源：

https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=-0.26367,-152.05078&extent=59.53432,-29.9707

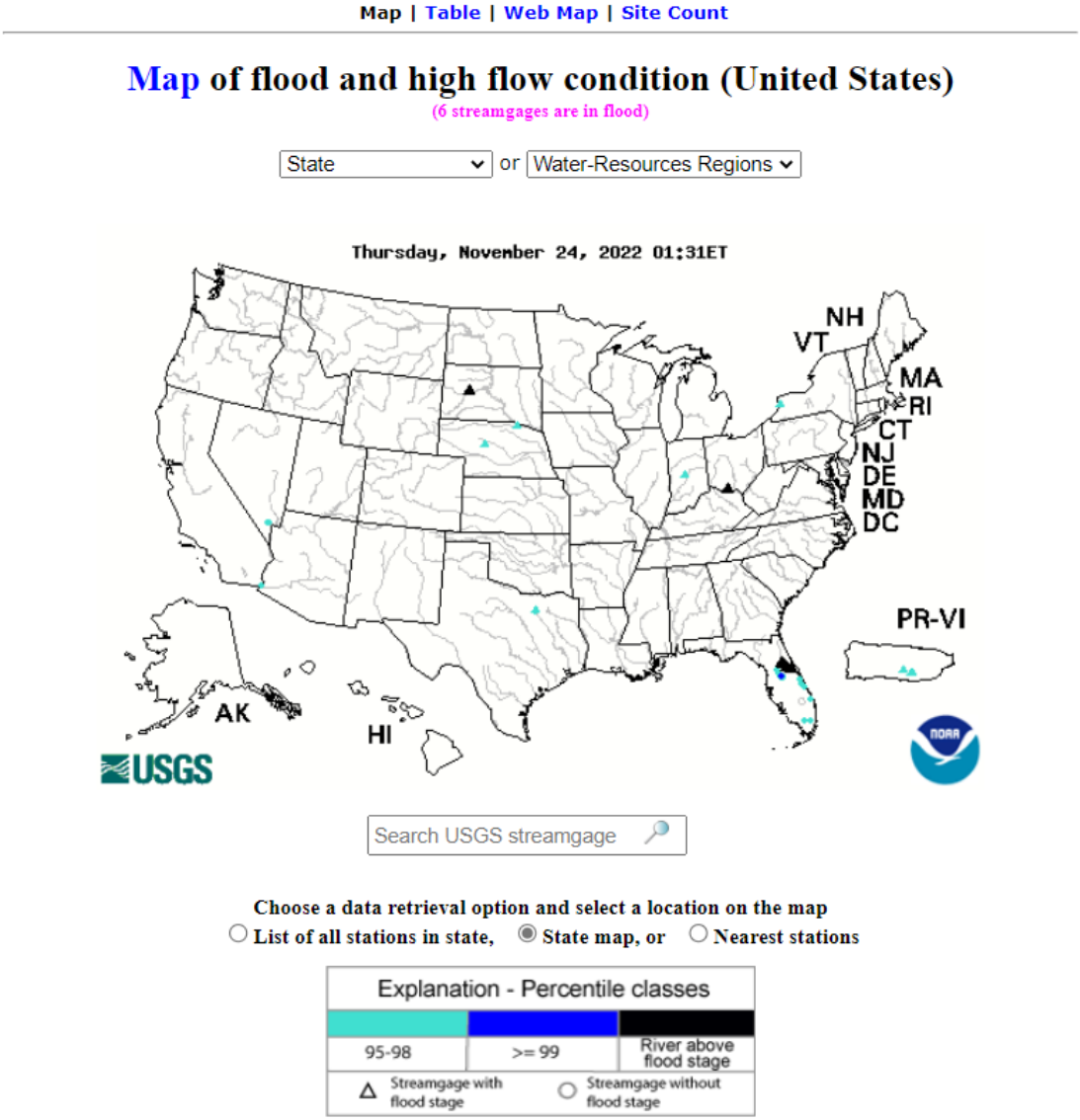


圖 5、USGS 即時洪水資料。來源：https://waterwatch.usgs.gov/?id=ww_flood

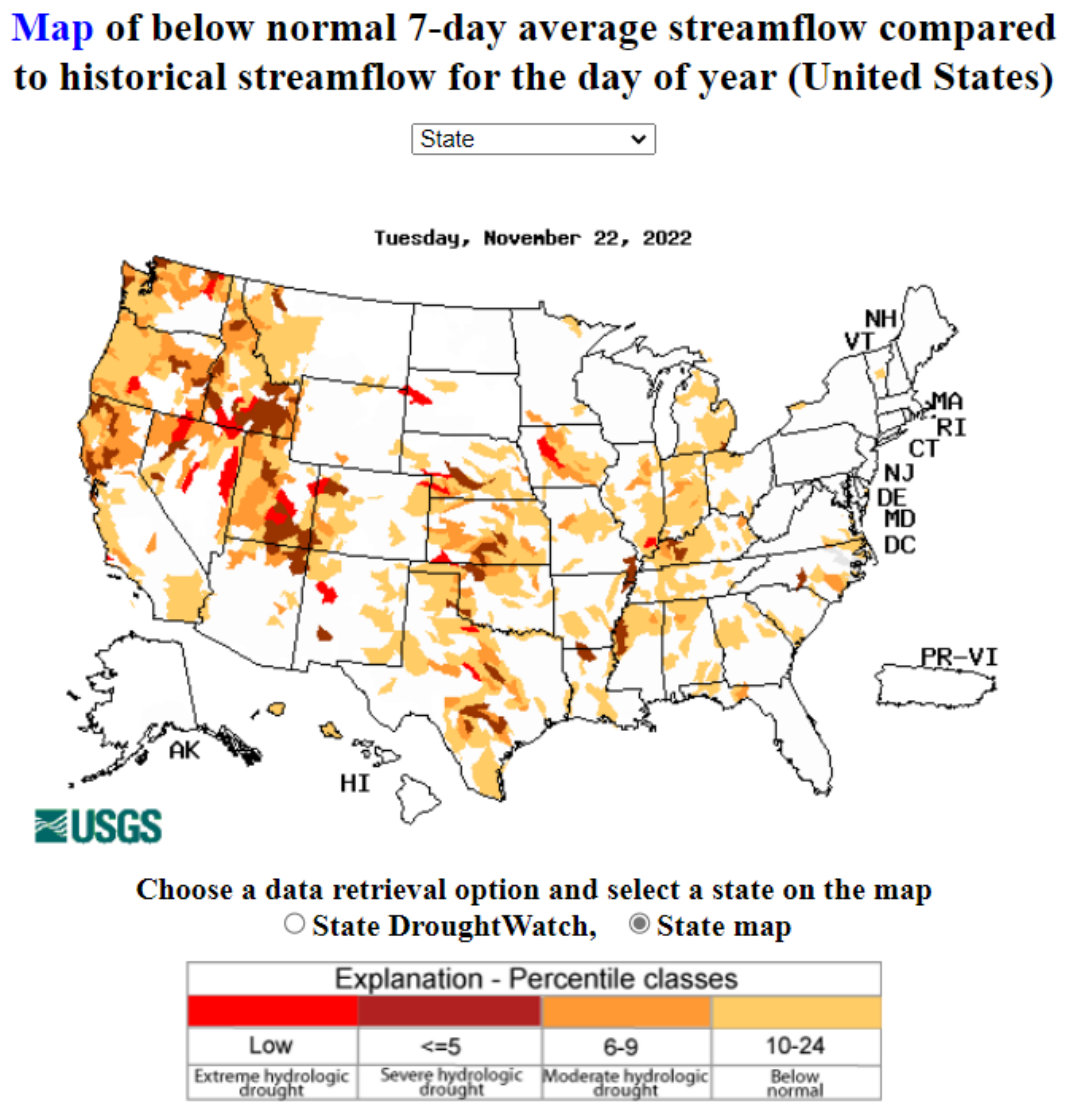


圖 6、USGS 即時乾旱資料。來源：https://waterwatch.usgs.gov/?id=ww_drought

海岸防災應用 -CCH 計畫

CCH(Coastal Change Hazards)是一個由 USGS 科學家、技術人員和社群共同合作的計畫，目標是整合及強化觀察，理解和預測國家海岸線變化的能力，並將觀測成果應用於應變型業務與長期海岸線變化研究使用。CCH 為促進了各種沿海科學的整合，建立知識整合社群，並與 CMHRP 計劃(Coastal and Marine Hazards and Resources Program ）互相激盪新的想法及對策。CCH 不僅建立研究人員、技術人員與相關民眾的溝通橋梁(如圖 7)，也應用資訊技術將複雜的數據，轉換成便於理解的線上系統(如圖 8)。



圖 7、美國 East Falmouth 所舉辦的海岸線研討會。來源：USGS

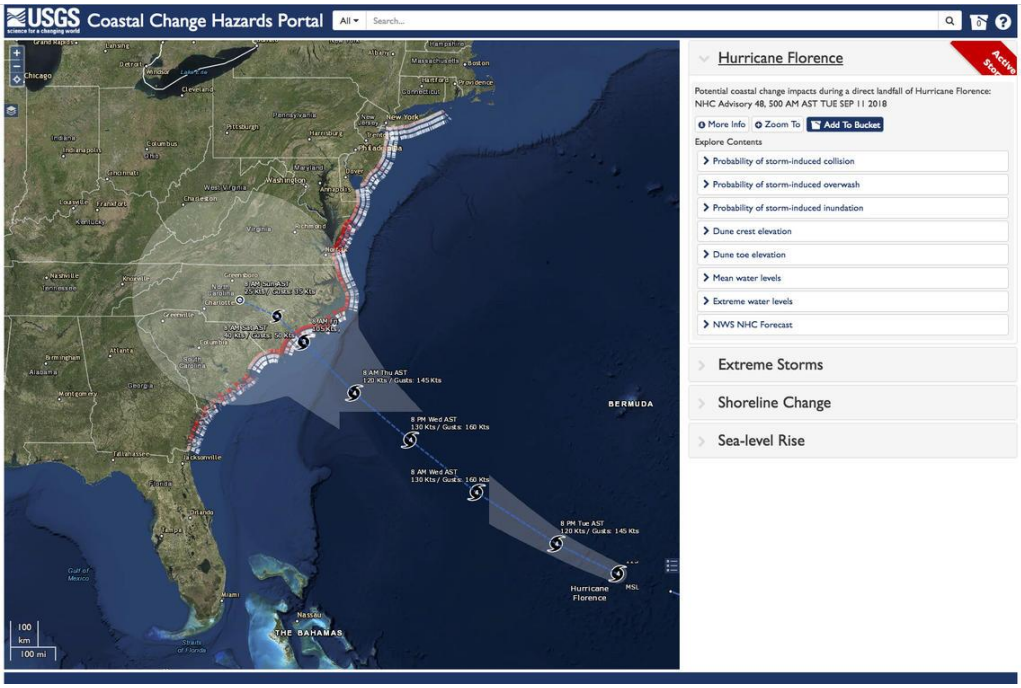


圖 8、海岸線即時資訊系統。來源：https://wim.usgs.gov/geonarrative/cch-rtstorms/

監測科技日新月異，能觀察到的細節與廣度逐年提升，同時技術與網路架構的進步，也使得科普資訊的傳遞能更加廣泛，將有助於跨領域與長時間的監測資

料整合與應用，於研究上能更能理解災害的特徵與原因。面對未來氣候變遷影響的不確定性，如何將資料及技術整合，並將複雜的數據轉化成容易被理解的資訊圖表，有效的把重要資訊傳遞給民眾，甚至作為決策時之依據，均仰賴於長期的資料、技術與經驗的累積，以做為科學研究與防災應變的基礎。

相關連結

1. 災害監控技術專欄(資料來源:USGS)

2. Three Sisters Volcano 地表變化監測(資料來源:USGS)

3. 海岸線災害研究(資料來源: coastal change hazards)

4. CCH 計畫與應用系統(資料來源: coastal change hazards)

5. USGS-即時地震資訊(資料來源: earthquake.usgs)

6. 即時水文、乾旱資訊(資料來源: waterwatch.usgs.gov)

➢ (二七)國內外生物多樣性資料視覺化案例－大數據×衛星遙測

無數的人造衛星在天空中，日以繼夜地對地球蒐集各式各樣的數據，推動著人類的各項科技進展。隨著近年來聯合國提出永續發展的 17 大指標，**地球觀測的永續發展目標 (EO4SDG)** 也逐漸受到人們重視，尤其是永續城鎮與社區 (No. 11) 與陸域生態 (No. 15) 相關的指標 (圖 1)。



圖 1、聯合國 17 項永續發展目標 (UN)

生物多樣性是生物在各生態系裡保持動態平衡的共存狀態。然而，由於氣候變遷及人類對環境的破壞，地球上的生命刻正以約 100 至 1000 倍自然滅絕的速度消逝中，許多學者認定為地球史上第六次生物大滅絕。Nature Positive 及即將到來的 UN Biodiversity Conference (COP 15) 為了阻止此消失現象，強力呼籲世界需迅速開始生態保護研究和措施 (圖 2)。

保護生物多樣性最有效的方法是建立生態自然保留區，並依法限制開發。但生物的觀察相關記錄通常分散於各組織，或受限於關注地域範圍，對生物整體分布的交互掌握及其資料視覺化呈現不完整，常導致生態保護區沒有被繪製在真正的生態熱區，成為無效的保護計畫。**因此，本期電子報將以生物多樣性的角度出發，介紹資料視覺化於國內外圖台應用及 Google earth engine (GEE) 在保護生物多樣性的相關研究及發展情形。**

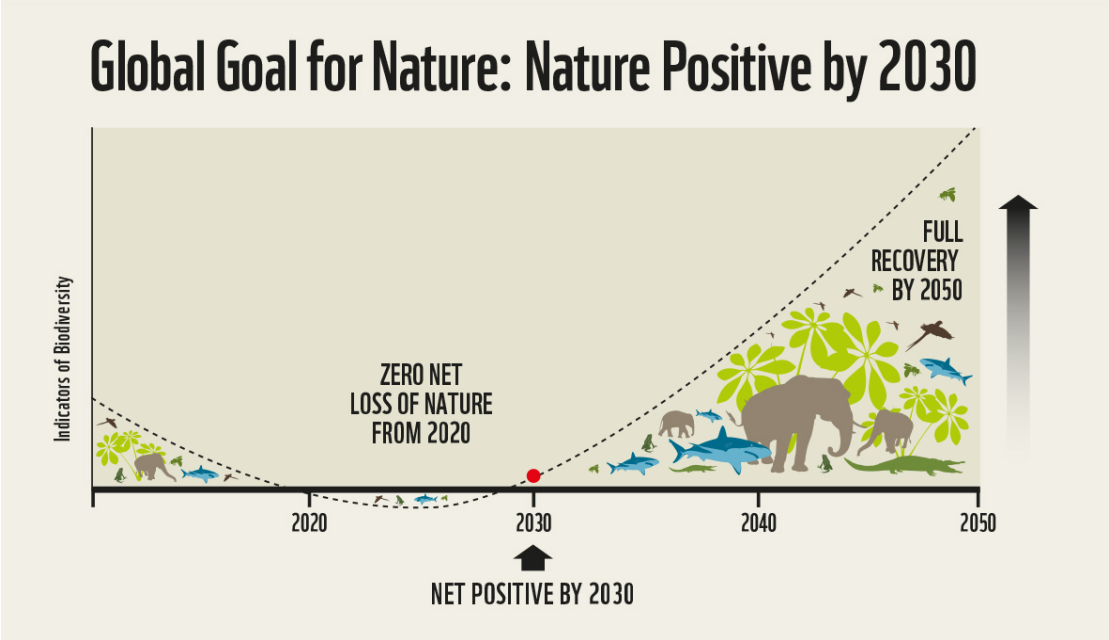


圖 2、A Global Goal for Nature 承諾各國政府於 2030 年前停止自然損失 (nature loss) (Nature Positive)

日本生物多樣性地圖 (Japan Biodiversity Mapping Project, J-BMP)

琉球大學久保田教授表示，過去人們認為**自然、社會和經濟**是三個不同的領域，在發展經濟的同時，必須犧牲自然。直到近年來才逐漸意識到自然領域才是人類社會及經濟發展的基礎 (圖 3)。

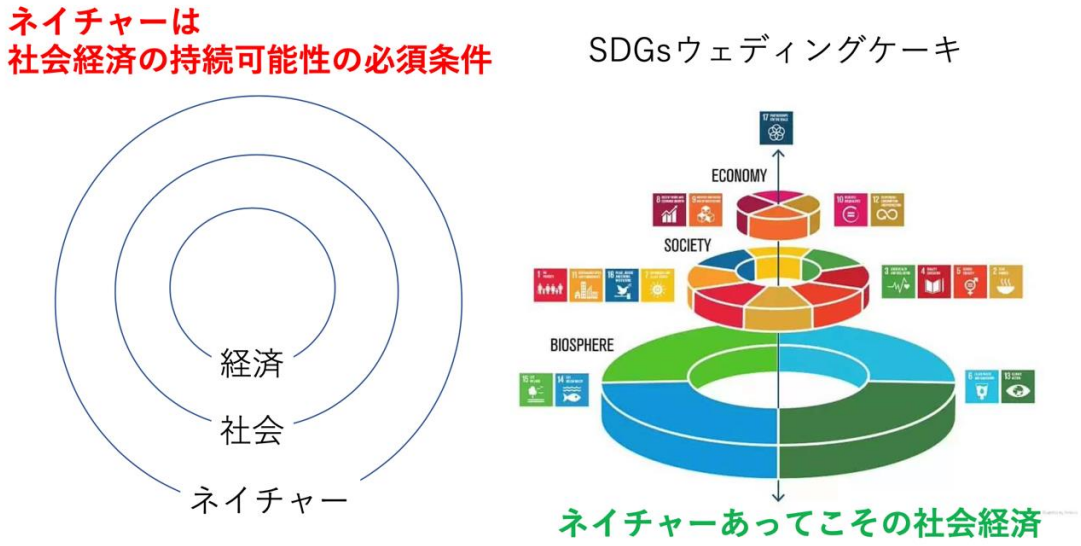


圖 3、SDGs 社會經濟與自然生態架構示意圖 (久保田教授)

因此，久保田教授領導的 Think Nature 綜整了日本國內生物多樣性的大數據，並在網路上發布日本**生物多樣性地圖 (Japan Biodiversity Mapping Project, J-BMP)**，將自然總量視覺化，並透過機器學習建立即時顯示生物分布率的系統，繪製生物分布地圖，以便定量評估生物多樣性 (圖 4)。

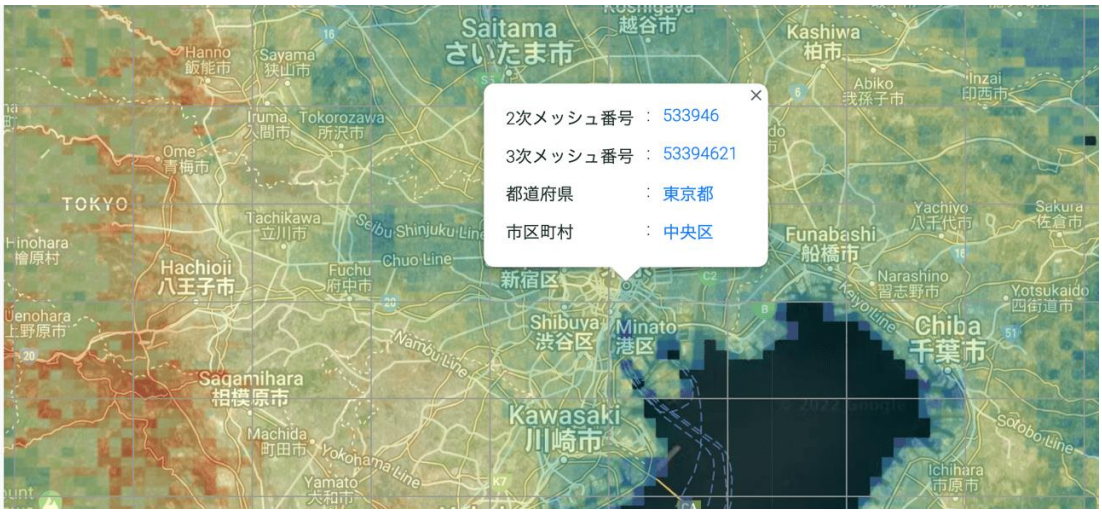


圖 4、日本生物多樣性地圖 (J-BMP) 圖台 (Think Nature)

在 J-BMP 圖台上，使用者點擊地圖後，會顯示該網格之編號與都道府縣資訊，並透過點擊「2 次メッシュ番号」來顯示 1 平方公里內的區域，有多少種的生物種類 (植物、哺乳動物、魚類和昆蟲等)、瀕危物種數量、保護優先程度及自然保護區面積等資訊 (圖 5)，供使用者快速了解該地區的生物種類分布及生存情形。



圖 5、編號 533946 網格物種現況圖表 (Think Nature)

資料視覺化第一步-數化紙本數據

資料視覺化的第一步就是必須先將數以千萬計的紙本資料進行電子化。J-BMP 蒐集來自生物學者所提出之物種分布、行為特徵、物種社會系統和基因等相關資訊，來建構其完整的資料圖台。舉例而言，J-BMP 透過將日本周遭的海洋環境數據 (地理、營養鹽、溶氧和流速等) 聯結觀測到的生物分布數據，繪製為日本近海表層水域生物多樣性的視覺化分布圖 (圖 6)，再根據其數據圈繪優先保護區域，從而減少各項開發對於生態的破壞 (圖 7)。

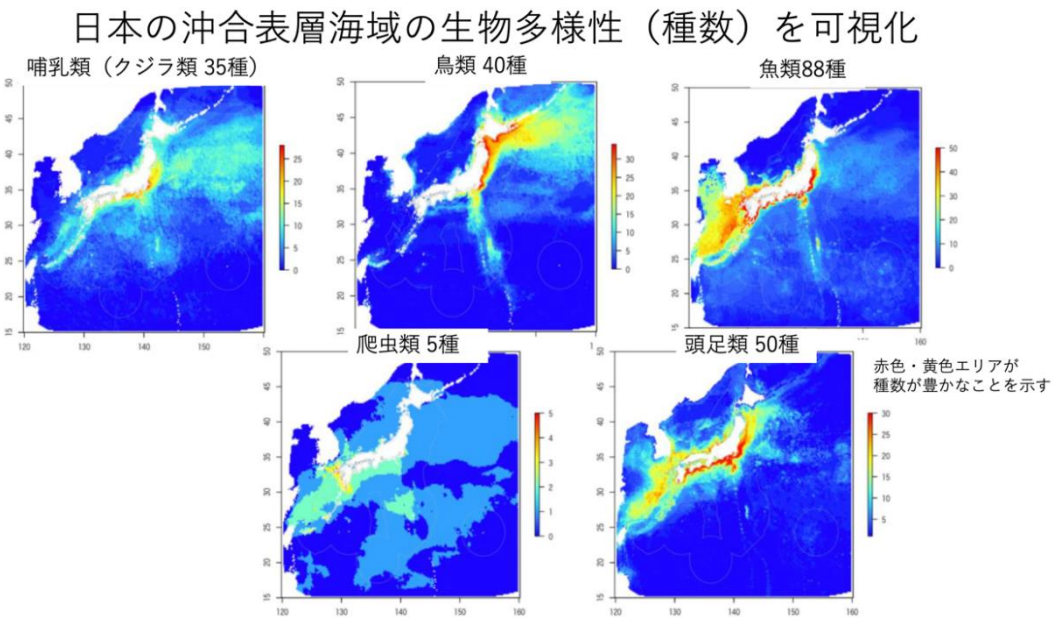


圖 6、日本近海表層水域生物多樣性視覺化分布圖 (Think Nature)

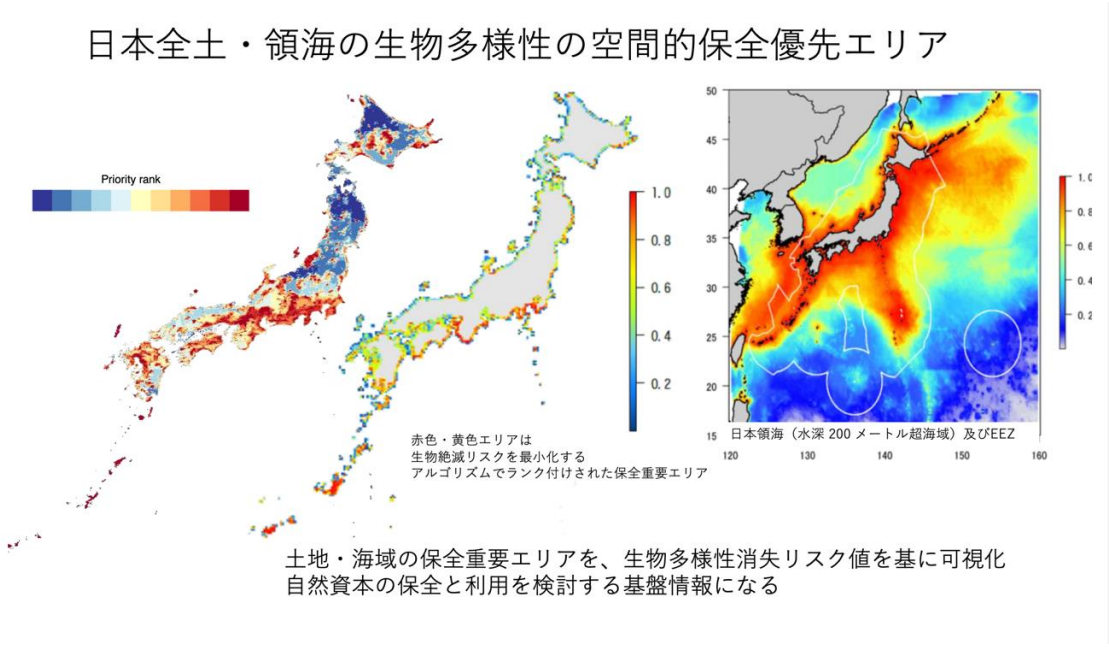


圖 7、日本生物多樣性優先保護區域圖 (Think Nature)

事實上，近年來水土保持局也正積極地將歷年成果報告書內的各項現地調查及觀測資料數化，並以水土保持局資料管理平台 (https://data.swcb.gov.tw/) 為單一窗口，作為資料流通與共享管道，方便使用者能直接下載使用，再次賦予資料新價值，並促進資料加值應用的可能性 (圖 8)。



圖 8、水土保持局資料平台提供歷年現地調查資料數化檔下載

結合衛星光譜分析及掌握生態資訊

隨著人造衛星科技在輻射解析度上的發展，能用來分析的光譜數據日趨清晰。Daughtry (2001) 及 Stimson et al. (2005) 皆應用植物葉面或生物棲息地對於不同波長的光譜吸收差異 (圖 9)，識別研究區域可能有哪些物種棲息或存在何種生態系統，也透過光譜變異來判斷此區域之物種生存狀況 (土壤含水量或光合作用效率等)，進而預測不同季節或不同氣候變遷條件之影響 (圖 10)。

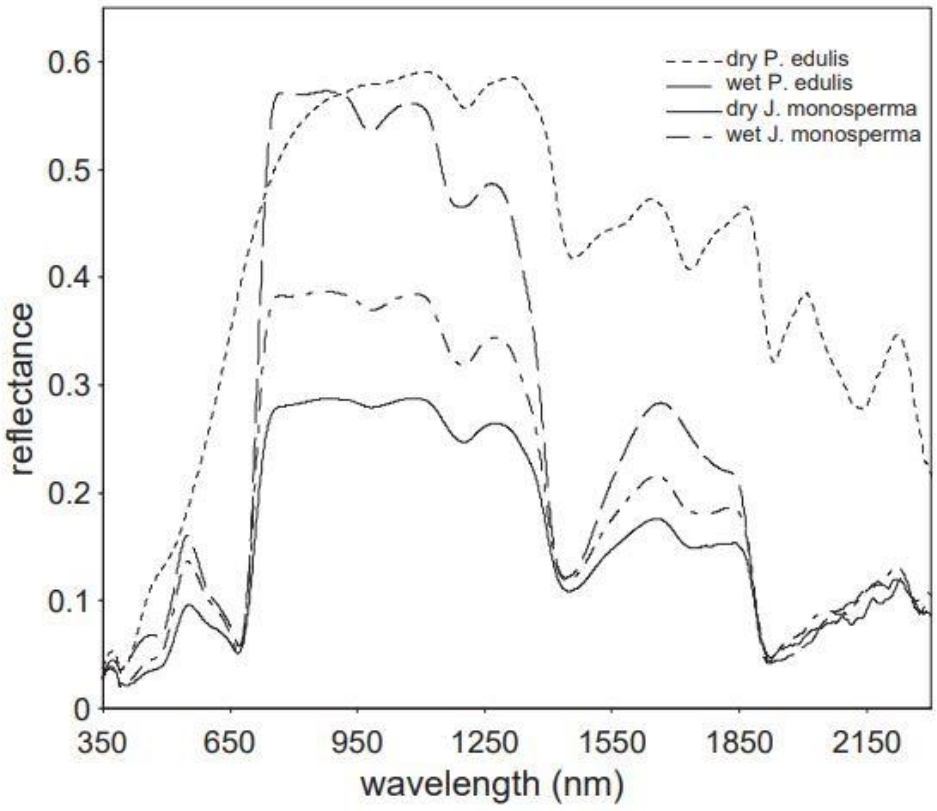


圖 9、不同植物種類及不同含水量之光譜的吸收能力圖 (Stimson et al., 2005)

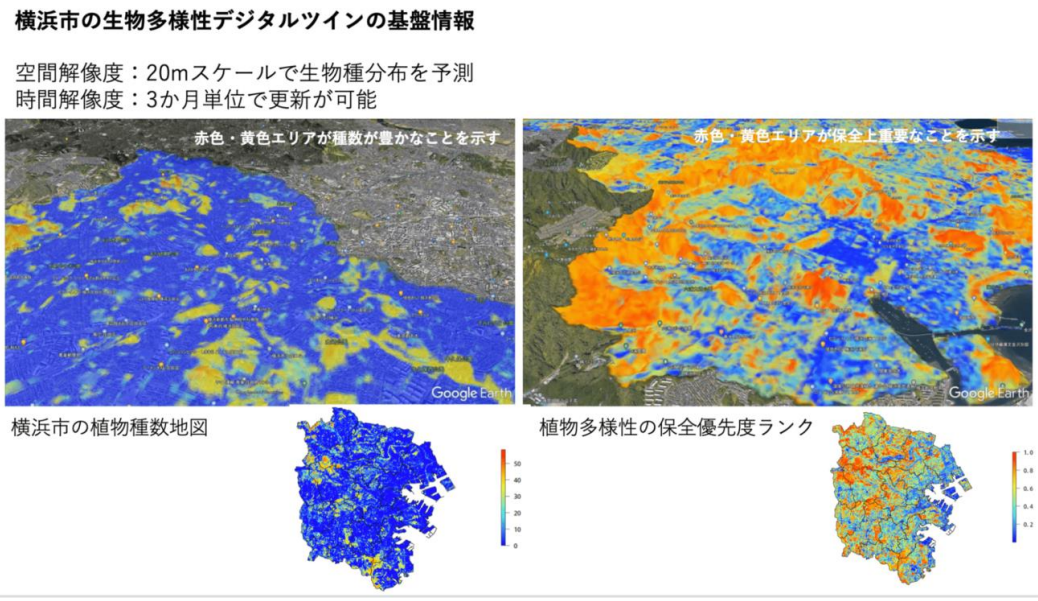


圖 9、不同植物種類及不同含水量之光譜的吸收能力圖 (Stimson et al., 2005)

台灣的生物多樣性圖資及線上圖台

台灣受限於多山地形及相關的政策推動較晚，導致目前仍無法掌握大多數野生生物的分布狀態。因此，台灣生物多樣性機構 (Taiwan Biodiversity Information Facility, TaiBIF) 及台灣生物多樣性網絡 (Taiwan Biodiversity Network，TBN) 致力於蒐集並開放生態調查相關資料，希望推動開放資料來逐漸改善資料不足的困境。其中，由農委會特生中心主政的 TBN 將其生態調查資料製作為臺灣野生生物分布的線上查詢平台，展示各物種的空間分布，作為台灣生態保育決策及減緩人為開發對環境的負面衝擊的重要依據 (圖 11)。

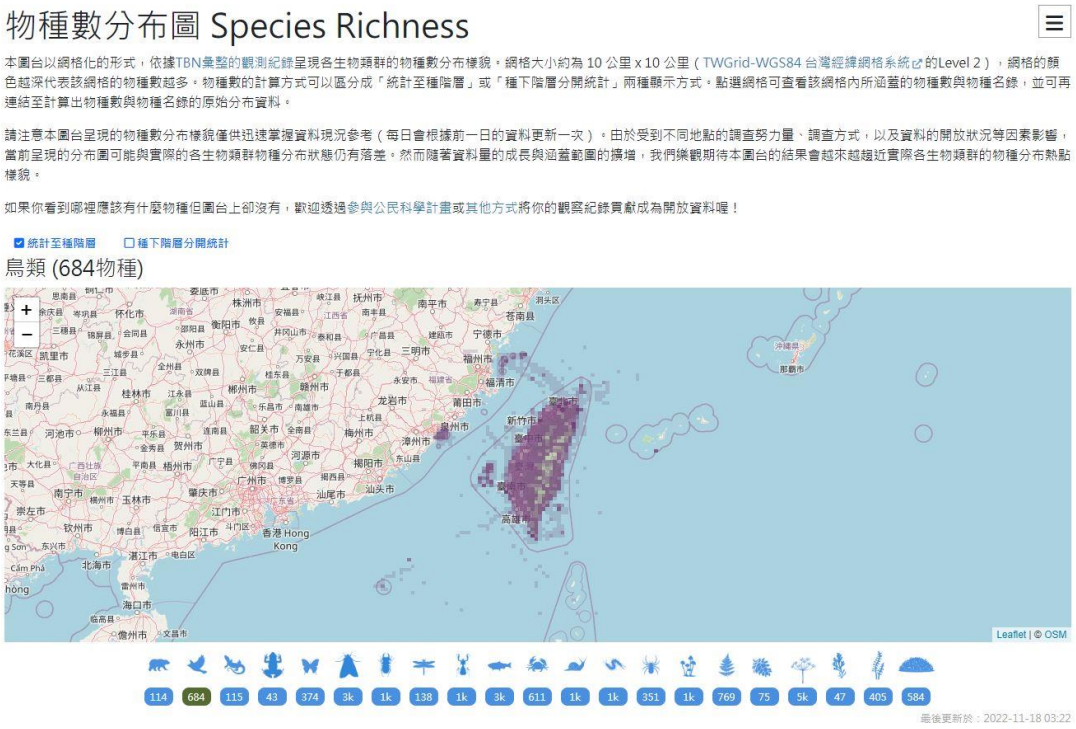


圖 11、台灣的生物多樣性圖資 (特生中心)

應用 GEE 評估生態多樣性及保護區狀況 (Olson et al., 2001)

Olson et al. (2001) 於 2001 年所推出的世界陸地生態保護區分布圖，被廣泛應用來描繪物種分布情形，並探討氣候變化對生態的影響，或制定各式的生態保護計畫，展示各國對於生態的保護目標。此外，Dinerstein et al. (2017) 應用前者的保護區分布圖，將其製作為線上的互動地圖 (Ecoregions2017©Resolve)(圖 12)，讓使用者能直觀的了解世界範圍內 14 個生物群落及 846 個生態區的保護情形。

同時，此圖資也已公開於 GEE 平台上 ('RESOLVE/ECOREGIONS/2017_FeatureView')，提供使用者可快速應用於相關的空間套疊 (圖 13)。

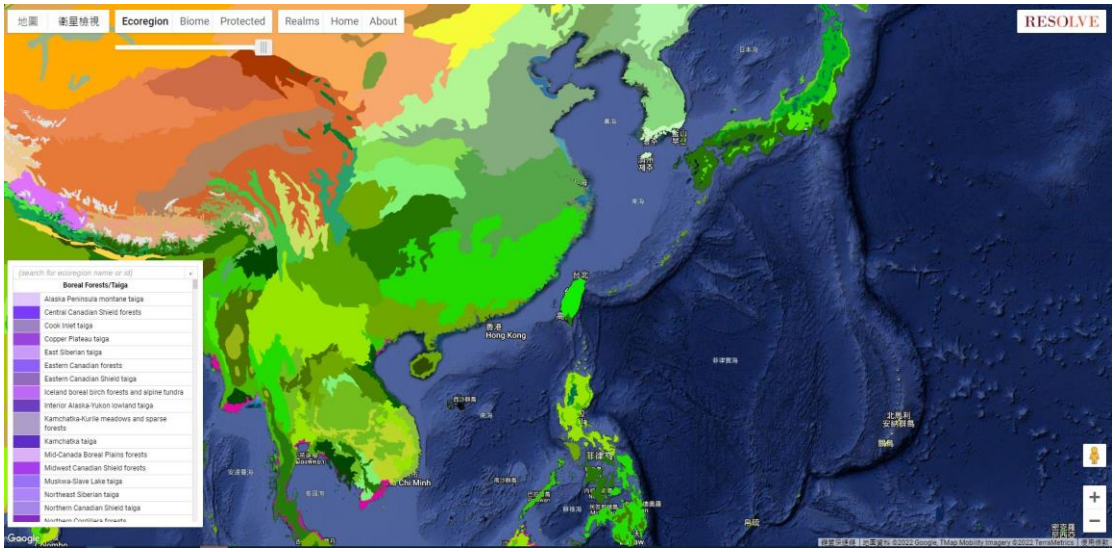


圖 12、Ecoregions2017 線上圖台 (Dinerstein et al., 2017)

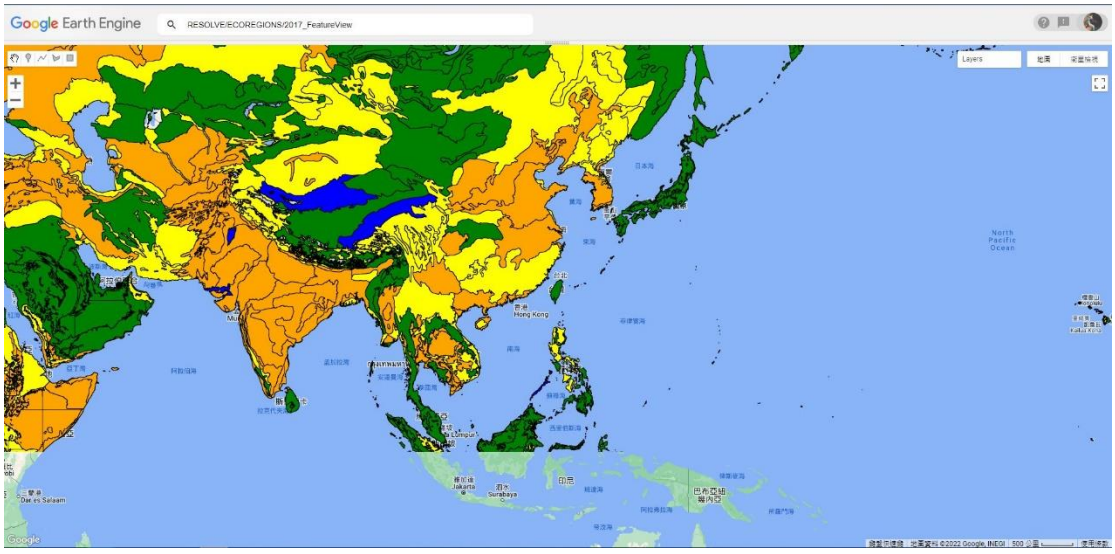


圖 13、保護區圖資於 GEE 平台展示範例 (Dinerstein et al., 2017)

利用 GEE 建立物種分布模型 (Crego et al., 2022)

Crego et al. (2022) 在 GEE 中利用數千張高空間解析度的衛星影像，並匯入物種發現位置等資訊，已針對棲息地適宜程度、預測發現位置及生物多樣性，建立物種分布模型 (Species distribution models, SDMs) (圖 14 及圖 15)。受益於 GEE

高性能的雲端計算，研究人員無需自行建構大型的計算設備即可進行分析，已大幅促進生物多樣性及生態保育相關研究之效能 (圖 16)。

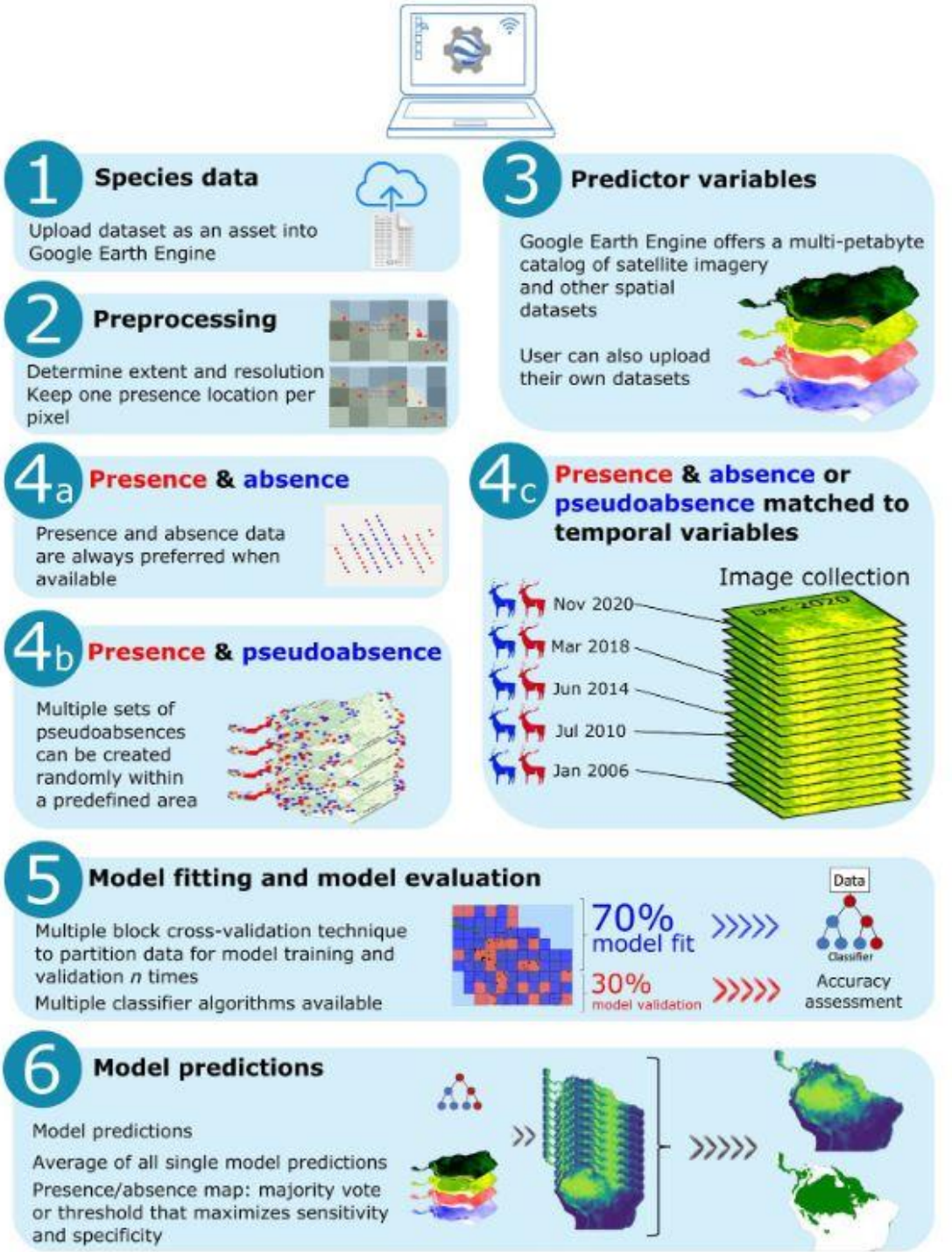


圖 14、在 GEE 中建立 SDMs 之流程圖 (Crego et al., 2022)

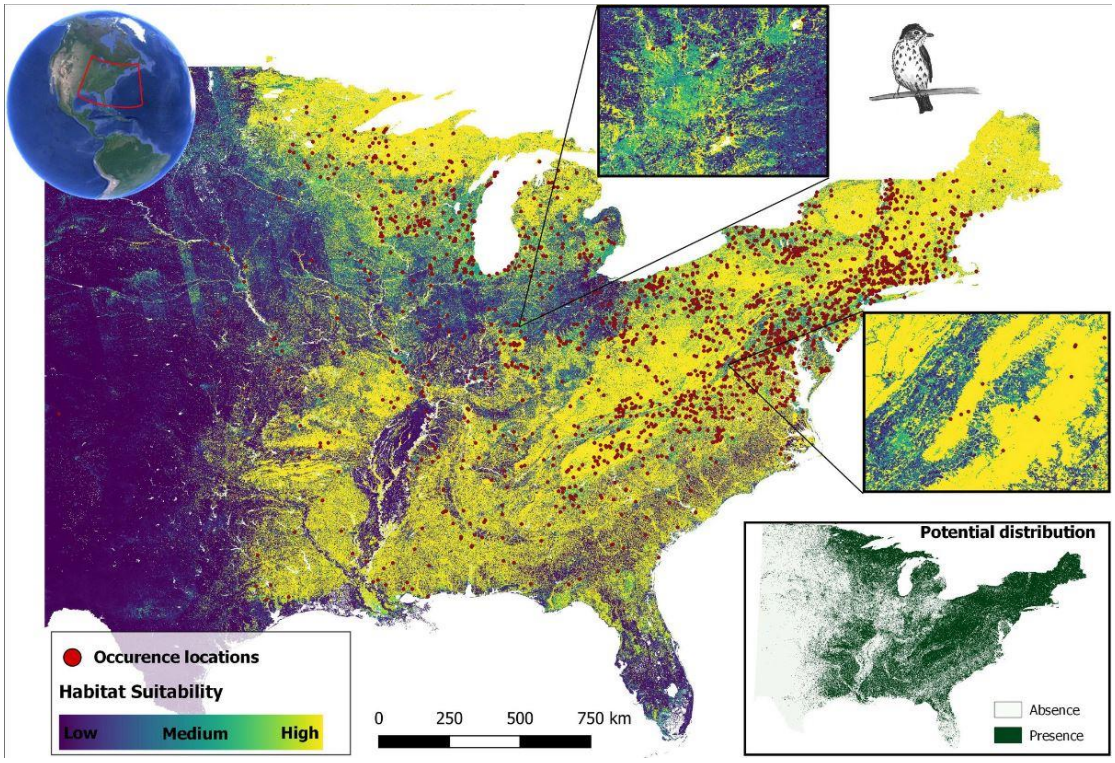


圖 15、美國東部鼬 (Hylocichla mustelina) 的棲息地預測 (Crego et al., 2022)

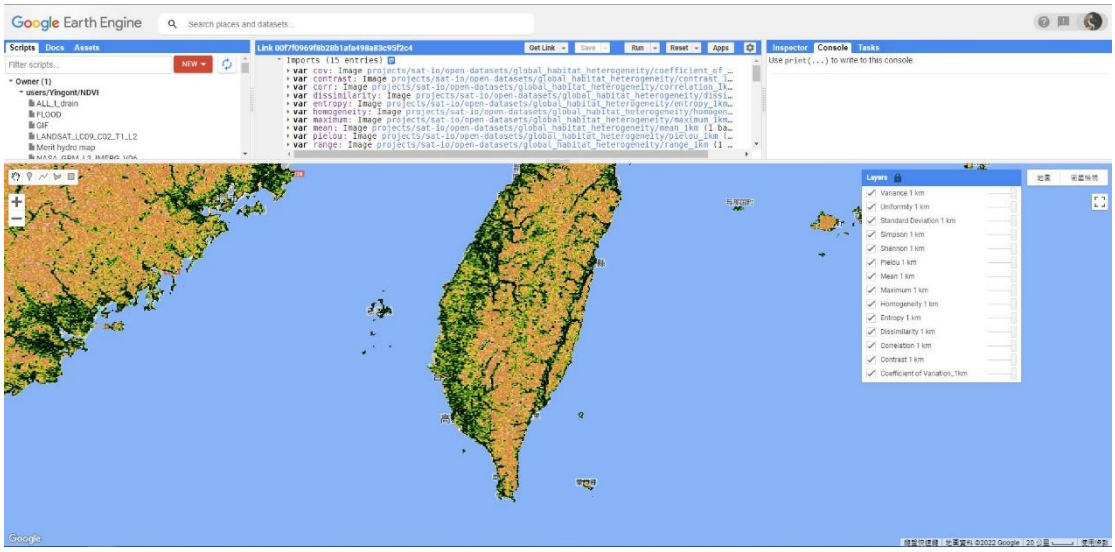


圖 16、應用 GEE 平台快速展示生物多樣性分布及預測圖 (Crego et al., 2022)

相關網站及應用成果連結

1. **EO 4 2030 Agenda (資料來源: EO4SDG)**
2. **地球の自然を数字で“見える化”!? 生物多様性を守るためのビッグデータ×衛星データ活用 (資料來源: 宙畑)**
3. **行政院農業委員會水土保持局資料平台 (資料來源: SWCB)**
4. **全球物種保護程度分布圖 code (資料來源: Dinerstein et al., 2017)**
5. **生物多樣性分布圖 code (資料來源: Crego et al., 2022)**
6. **Ecoregions2017©Resolve (資料來源: Dinerstein et al. 2017)**
7. **台灣生物多樣性網絡 (資料來源: TBN)**

參考資料

1. Crego, R. D., Stabach, J. A., & Connette, G. (2022). Implementation of species distribution models in Google Earth Engine. Diversity and Distributions, 28(5), 904-916.

2. Daughtry, C. S. (2001). Discriminating crop residues from soil by shortwave infrared reflectance. Agronomy Journal, 93(1), 125-131.

3. Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... & Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. BioScience, 67(6), 534-545.

4. Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., ... & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. BioScience, 51(11), 933-938.

5. Stimson, H. C., Breshears, D. D., Ustin, S. L., & Kefauver, S. C. (2005).

Spectral sensing of foliar water conditions in two co-occurring conifer species: Pinus edulis and Juniperus monosperma. Remote Sensing of Environment, 96(1), 108-118..

➢ (二八)人人都可創造數位孿生－手機 3D 掃描技術的現況與發展

近年「數位孿生」(Digital Twin)概念興起，其中三維模型為重要的基礎，並廣泛應用於不同產業，土木工程界已開始利用於資料治理、工程規劃與設計，惟受限建置數位孿生的 3D 掃描儀器昂貴與攜帶不便，一般民眾使用上尚未普及；自從美國蘋果公司在 iPhone 推出 3D 掃描功能後，大大地降低產製數位孿生的技術門檻，各行各業並積極開發與嘗試各種 APP 功能。

本期電子報以手機 3D 掃描功能為例，介紹 3D 模型掃描建立的方式以及工程應用方式與實際應用案例。

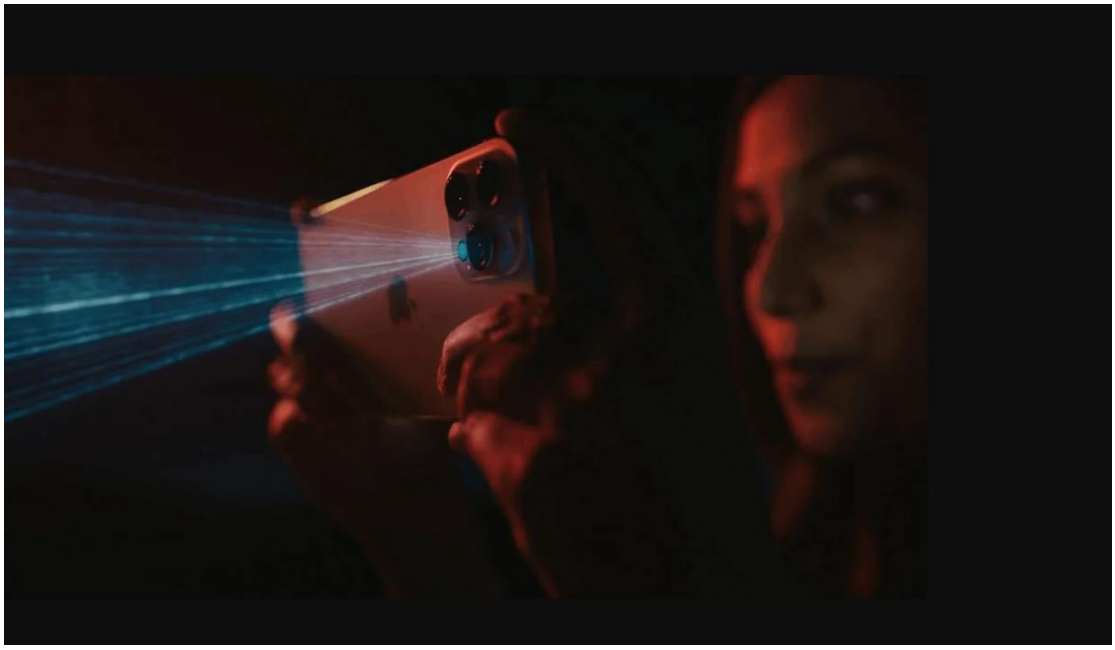


圖 1、iPhone 使用 3D 掃描功能示意圖

手機 3D 掃描建立 3D 模型的方式

過去針對目標物掃描，會選擇使用傳統的 3D 掃描儀進行作業，但是 3D 掃描儀常因工具繁多、成本高與較難試錯等問題，造成使用掃描功能門檻過高；但自從 iPhone 手機具有 3D 掃描功能後，人人均能自建 3D 掃描的時代便開始普及(表 1)。

圖示		
種類	傳統 3D 掃描儀	手機 3D 掃描
使用儀器	光學雷達掃描儀、 三腳架、 數據處理軟體、高性能電腦	具有光學雷達與攝影功能的手機
成本	3D 掃描儀成本 約 100 萬以上	以 iPhone 為例， 最低成本約 3 萬
普及性	成本高昂， 因使用者相對較少，試錯回饋少，功能不易提升精進	成本相對較低，手機亦為現代生活必需品，使用 3D 掃描或研究者可輕易入手

表 1、傳統 3D 掃描儀與手機 3D 掃描之差異比較

以下介紹手機目前兩種 3D 掃描方式與技術發展狀況(表 2):

圖示		
種類	LiDAR 掃描	光學影像攝影掃描
緣起	從 2020 年 10 月發布的 iPhone 12 Pro 系列開始，搭載了 LiDAR 傳感器，輔助相機和 AR 功能	2021 年美國蘋果公司在 WWDC21 上宣布了一個名為 Object Capture 的計畫，開始發展手機攝影測量的功能
特點	1. LiDAR 針對目標物進行反射來讀取距離，進一步建立 3D 模型；並在掃描範圍內自動攝影，呈現表面樣貌 2. 適用 iPhone 12 Pro 以上的手機 3. 掃描距離 5 公尺 4. 可用於較大的空間或物體	1. 利用多個角度與多張照片進行嵌合與計算，建立 3D 模型；並利用拍攝範圍內的照片建立表面樣貌 2. 適用具拍攝功能之 IOS 或 Android 等手機 3. 拍攝張數限制在 100-300 張內 4. 因拍攝需要多角度環繞攝影物體，較適合小型的物體
目前限制	1. 為避免 iPhone 電池過度消耗，LiDAR 原廠設定反射距離為 5m(目前國外另自行研發程式輔助反射提升至 54m)(圖 2) 2. 因需手持移動關係以至於掃描品質低於傳統 3D 掃描儀 3. 掃描密度低，無法對電線等細微物體進行 3D 掃描(圖 3)	1. 單一拍攝張數限制 100-300 張，難以拍攝大範圍區域 2. 手機本身的相機性能不如單眼相機 3. 需要在 APP 內拍照，因此，無法通過手動設置各種相機參數調整或使用在室外拍攝的照片進行攝影測量

表 2、手機目前兩種 3D 掃描方式



圖 2、國外使用者自行研發程式輔助 LiDAR 距離提升至 54m



圖 3、LiDAR 掃描點密度示意圖

經筆者測試多款 APP 後，目前推薦以下 APP(表 3)，均免費下載，歡迎大家嘗試與討論交流:

重點分類	大範圍目標	小範圍目標	Android 可用	室內方形空間快速建模
APP 名稱				
	3d scanner App	Scaniverse	WIDAR	polycam
適用系統	IOS	IOS	IOS/Android	IOS
建模方式	LiDAR/攝影測量	LiDAR/攝影測量	LiDAR/攝影測量	LiDAR/攝影測量
模型類型	網格/點雲	網格	網格	網格
輸出格式	USDZ、OBJ、點雲、DAE(SKETCHUP 格式)等	USDZ、OBJ、點雲等	USDZ、OBJ、點雲、XYZ 等	USDZ、OBJ、點雲等
特色	1. 可處理大範圍掃描資料 2. 唯一可以計算體積的 APP 3. 擁有虛擬實境(virtual reality，VR)功能，體驗在完成三維模型內移動的臨場感 4. 可直接匯出常用工程軟體(SKETCHUP、AutoCAD 等)使用的格式	1. 掃描成果可呈現細節，適用小範圍目標 2. 介面簡單適合初學者使用 3. 因為可以離線處理，訊號差的環境仍可攝影測量建模	1. 少數可使用 Android 系統且免費 2. 強大的修改功能，如改變紋理、模型比例和旋轉	1. 最短2分鐘掃描室內空間，即可快速成型與建立 3D 模型與平面圖(影 1) 2. 擁有虛擬實境 (virtual reality，VR)功能，體驗在完成三維模型內移動的臨場感

表 3、3D 掃描 APP

其中 polycam 可以 2 分鐘內完成並展示約 3 坪空間的三視圖、尺寸與真實室內場景。**(文章連結:twitter)**



圖 4、polycam 2 分鐘快速建模成果

手機 3D 掃描開始投入於工程應用

日本國土交通省在 110 年為了持續導入 ICT 於工程領域，ICT 推進工作組在 12 月於「第三回 ICT 普及促進 WG」嘗試利用手機 3D 掃描中的 LiDAR 掃描、外部測量設備與指定 APP 進行工程精度試驗(圖 5)，測試結果顯示使用手機 3D 掃描可適用於小規模土方工程，並且在 111 年開始於該單位推廣，並吸引越來越多工程公司嘗試使用(圖 6)，其中清水株式會社更因採用此技術獲得「2021 i-Con 大賞」成員努力類優秀獎肯定(圖 7)。



圖 5、「第三回 ICT 普及促進 WG」 手機 3D 掃描工程精度試驗



圖 6、種村建設株式會社在實際土方工程嘗試使用 3D 掃描



圖 7、清水株式會社嘗試使用手機 3D 掃描成果

手機 3D 掃描技術的發展方向

由於手機的便利性及功能日益強大，目前在工程應用上使用手機進行 3D 掃描除使用手機內建之 LiDAR 功能外，亦已有廠商開發結合外部測量設備（如 RTK-GNSS 接收器或導航樁）與應用程式(如表 4)，大幅提升手機 3D 掃描測量的精度及效能，相信在未來的應用會越來越廣泛，提升整體工程的品質與操作的便利性。

圖示		
種類	LiDAR 掃描	手機攝影掃描+ LiDAR 掃描
APP	OPTiM Geo Scan	Pix4Dcatch
外部測量設備	OPTiM Geo Point	viDoc
方法	使用 OPTiM Geo Scan 進行掃描，並定點放置與拍攝導航樁，提供控制點給掃描目標(影 1)	使用 Pix4Dcatch 拍攝與重疊照片，並使用 LiDAR 填補攝影測量可能遺漏的空白，以及配合 RTK-GNSS 接收器「viDoc」將高精度的位置訊息附加到照片上(影 2)
特點	1. 精度誤差 30mm 以內(圖 8) 2. 改變以往兩人以上測量，一人即可輕鬆完成 3. 測量只需輕按一下即可完成 GNSS 測量，花費的時間較傳統測量工時減少 60%以上 4. 通過將高度兼容 CSV 格式的輸出測量數據到工程常用的 CAD 軟體中，可以創建平面圖和橫截面圖	1. 精度誤差 5mm 以內 2. 連接超過 600 個衛星（包括 GPS、GLONASS、Galileo 等主要衛星系統），5 秒內實現 RTK 收斂 3. 可共享於 Pix4D 系列多種分析軟體(PIX4Dmapper、PIX4Dcloud、PIX4Dsurvey)

表 4、結合外部設備大幅提升手機 3D 掃描精度的商業產品

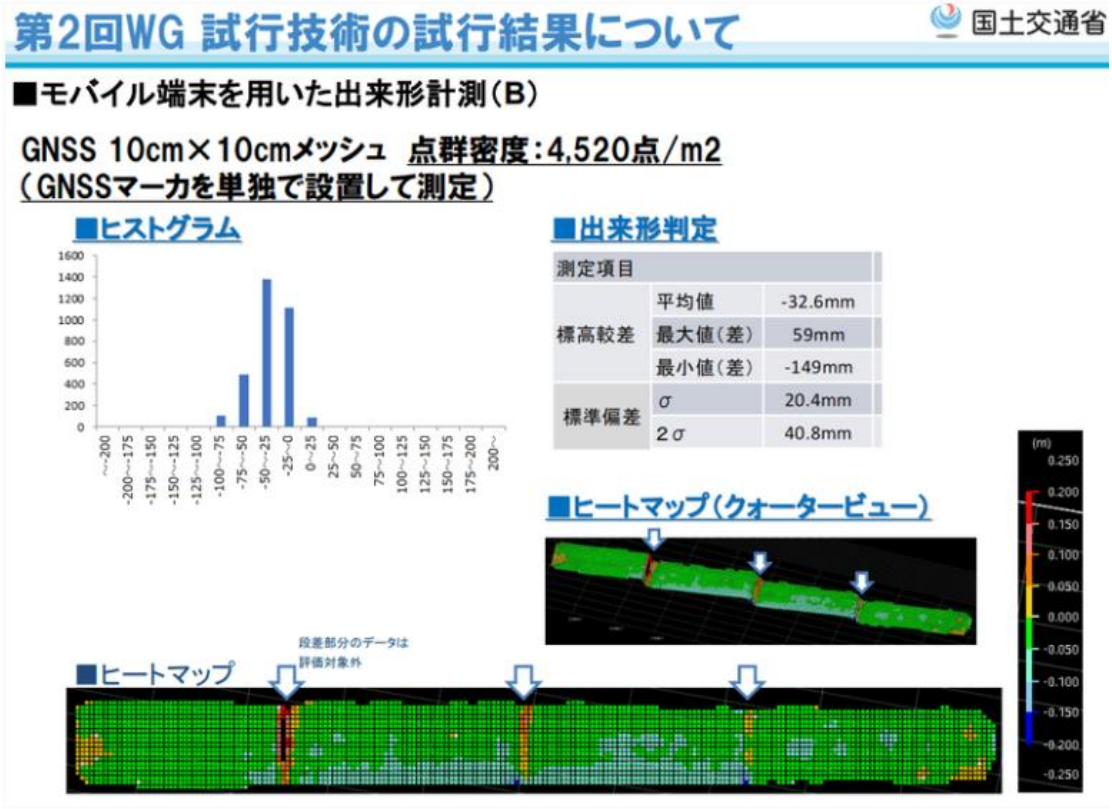


圖 8、OPTiM Geo Scan 測量精度成果

相關網站

1.【初心者向け】iPhone 3D スキャンパーフェクトガイド(資料來源:note-iwama)

2.現役 ICT 施工部門所属が土木×iPhone LiDAR について書いてみた(資料來源: note- iwama)

3.EveryPointIO Video+ LiDAR Fusion (資料來源:twitter-Jonathan Stephens)

4.PIX4Dcatch (資料來源: PIX4D)

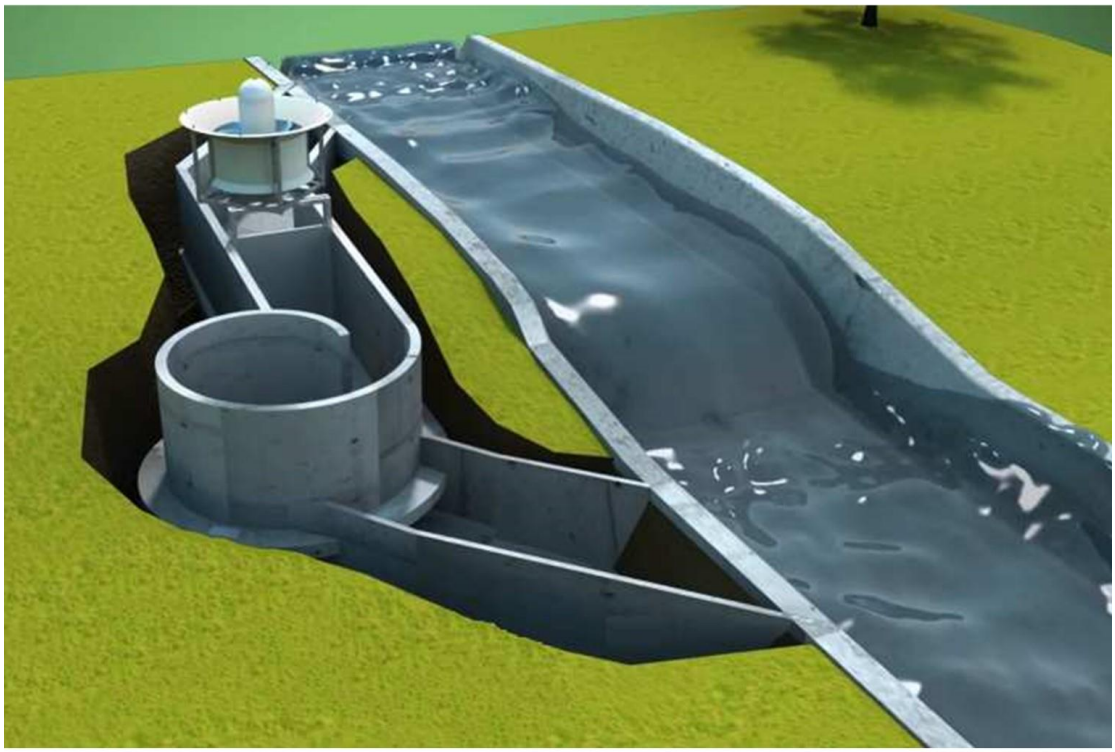
5.OPTiM Geo Scan (資料來源: OPTiM)

6.登川下流床固工群 No.61 帯工工事(資料來源: FB:株式会社種村建設)

7.3D 掃描器(資料來源:維基百科)

8.polycam 2 分鐘快速建模成果(資料來源: twitter- iwama@iPhone で 3D スキャンする人)

➢ (二九)小水力、微水力是什麼？小水力發電的實際應用、技術創新與推動實例介紹



資料來源:Turbulent Hydro

臺灣為達成 2050 淨零轉型目標，已展開能源及產業轉型等策略，推動發展小水力、微水力發電等清潔的再生能源。小水力發電的定義各國尚無統一之標準，依據我國經濟部能源局《再生能源發展條例》，「小水力發電」係指利用圳路或既有水利設施，設置未達二萬瓩(KW)之水力發電系統；如再進一步細分發電容量，100 瓩以下則稱為「微水力發電」。小水力發電(Small Hydro Power, shp)多裝設在河川流動處，提供經濟且對環境影響低的可再生能源，目前技術相當成熟、可靠且維護成本低，使用壽命可達 20~30 年(Natural Resources Canada, 2005)，對於無法供給電力的偏遠地區是一理想選擇，本期電子報將介紹小水力發電在不同地區的實際應用及未來推動發展方向。

小水力發電需要那些設備?

以裝置於河川處的典型離槽式小水力發電系統為例：

1. 於河道設置取水口或堰，將河水分流

2. 設置運河或管路將上游分流的水輸送到人工蓄水池(如圖 1.~圖 3.)

3. 人工蓄水池先進行水質過濾，避免雜質進入壓力管內造成堵塞

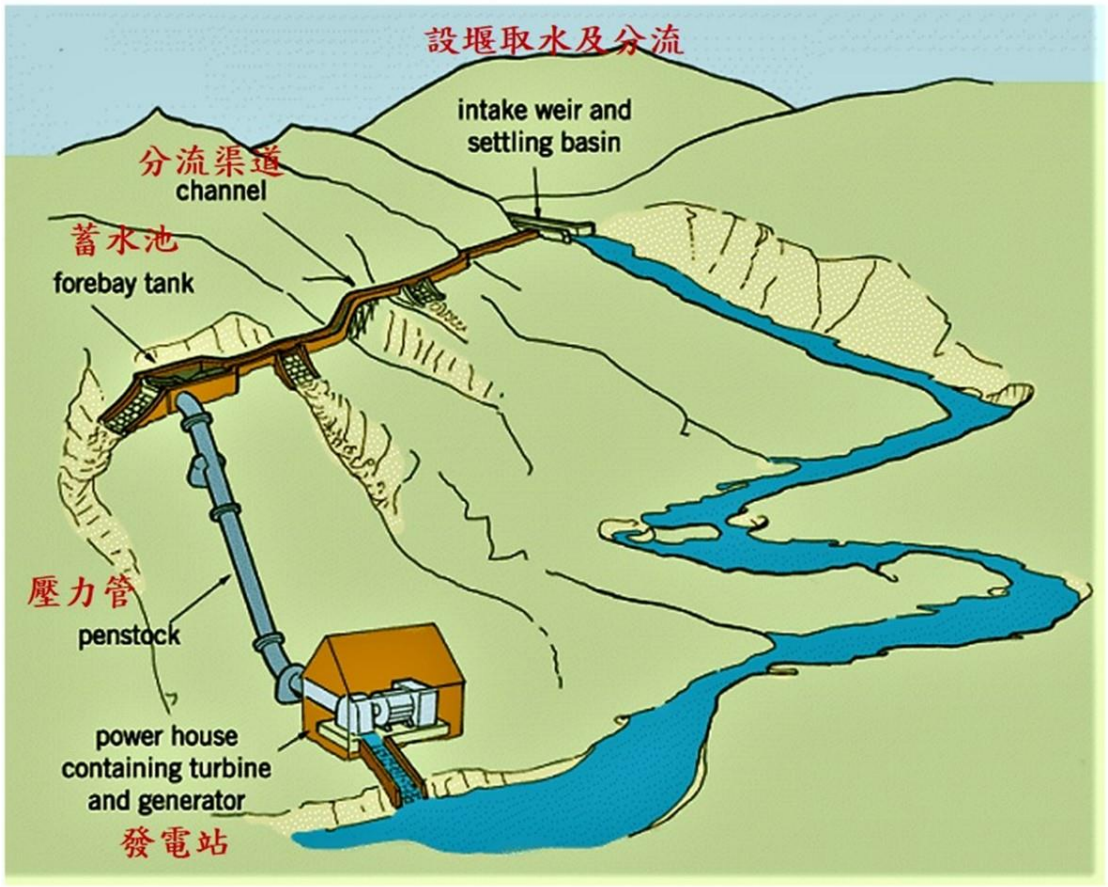
4. 透過壓力管路將水輸送到下游發電站

5. 發電站內有設置水輪機，可將水流位能/水頭差轉化成為機械能，再驅動發電機，將其轉換成電能(圖 1.、圖 2.、圖 4.及圖 5.)

6. 發電站內設置負載控制器來提供穩定的電力

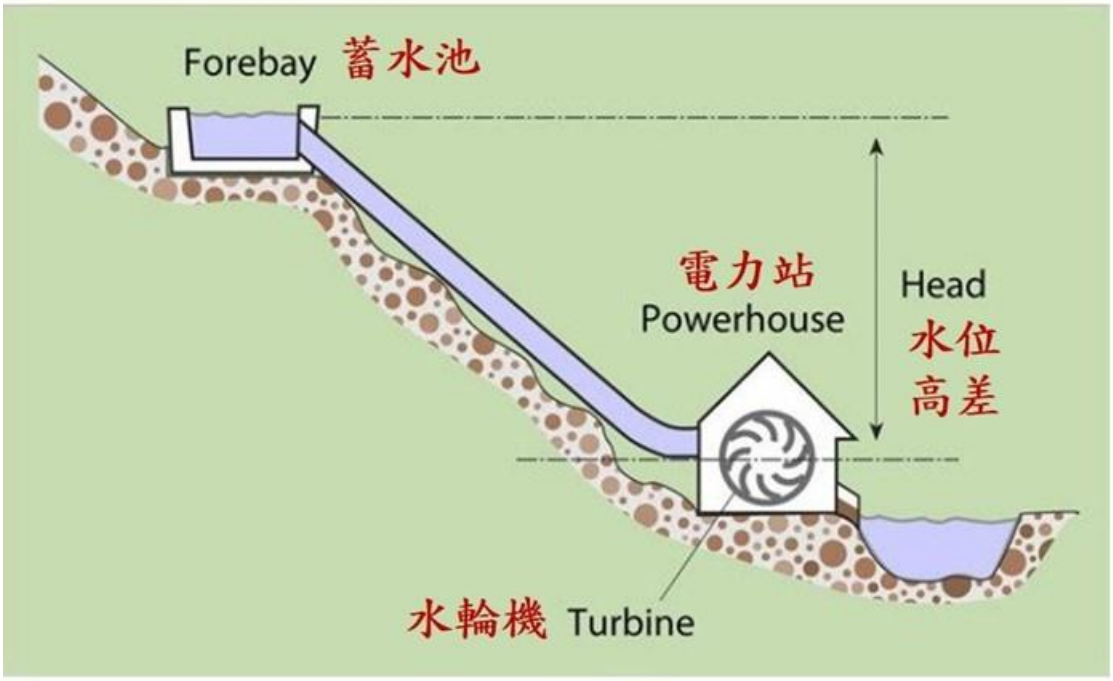
7. 將尾水排放至原本河川/溪流中

8. 將電力通過電力傳輸線傳輸到目的地



照片原始出處：PRACTICAL ACTION(n.y.)，照片取得處：https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-distribution/hardwares/water-network-distribution/hydropower-%28small-scale%29

圖 1.小水力發電配置圖(離槽式)



資料來源：https://www.energy.gov/energysaver/planning-microhydropower-system

圖 2.小水力發電系統-透過上下游水位高差進行發電



資料來源：：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

備註：這是由鋼所建造而成的容器(圖 1 中的 Forebay Tank)，3 米長，2 米深，1 米寬，主要目的是維持水頭的穩定以及提供連續且穩定的水流

圖 3.上游取水堰取水後匯入的蓄水容器(取自日本鹿兒島 Oitake 小水力發電)



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

備註：電力站其實是一個航運用的貨櫃，所有機電設備都安裝在此

圖 4.電力站(取自日本鹿兒島 Oitake 小水力發電)



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

備註：黃色裝備連接水輪機與發電機(灰色)，三個箱子分別是控制面板、後方阻尼器與變壓器

圖 5.電力站內部情形(取自日本鹿兒島 Oitak 小水力發電)

應用小水力發電的成功案例

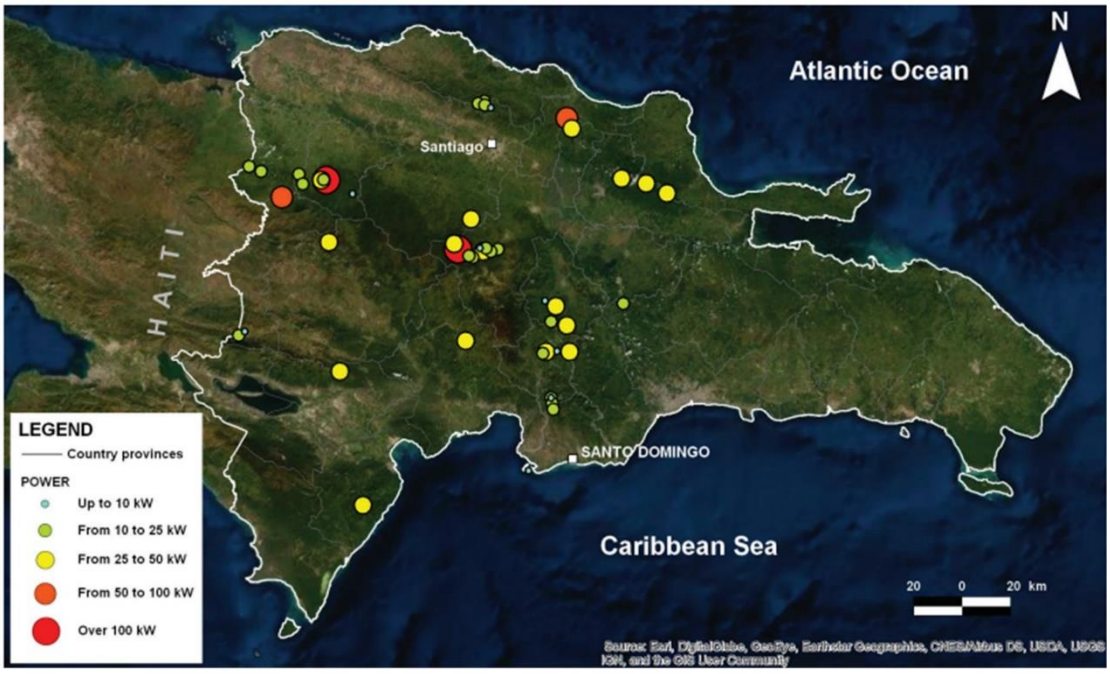
近年來世界各國均有應用小水力發電於提高生產及推動社區發展的成功案例，例如巴基斯坦的 SARHAD 農村支持計畫，透過建造小水力發電，改善開伯爾-普什圖省的馬拉坎專區，原先無電可用的生活樣貌。小水力發電的開發協助當地麵粉廠、麵包店、裁縫店等商家擴大產業規模，並創造就業機會，有效改善民眾經濟條件，如圖 6.。



提供電力給偏遠地區人們以使用日常電器　小水力產生的電可供照明，讓學生學習和寫字　小水力發電可供人們學習電腦課程及上網獲得外界的訊息

圖 6.小水力發電對偏鄉地區人們的實際助益

多明尼加共和國則透過小水力發電的建造(圖 7.)，除解決農村貧困人口的需求，同時減少民眾砍伐木材作為燃料以保護環境。這些小水力發電總裝機容量超過 1.4 兆瓦(MW)的清潔能源，並為超過 5000 個家庭提供更可靠的電力供應。此外，在尼加拉瓜、尚比亞、剛果、帕米爾高原等均有類似的案例。



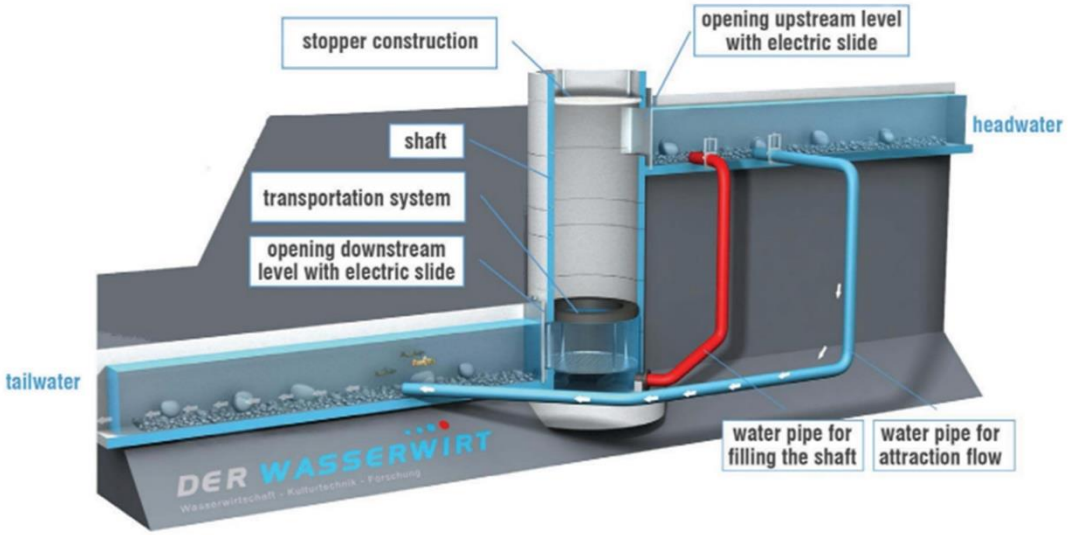
資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 7.多明尼加共和國小水力發電分布圖

結合生態及挑戰各種條件限制的新型小水力發電裝置

(一) 內建魚梯的小水力發電設備

水力發電需透過上下游水位差來進行發電，建造時常造成魚類無法遷徙，因此在設備中設計一運輸系統，可讓魚類由尾水端進入塞子空間，並透過注水讓水位上升至上游水位後，再行開啟上游閘門讓魚類游出，如圖 8.。



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 8.小水力發電設備中上升魚梯閘設計

(二) 水位高差不足處也能使用的渦輪機

此渦輪機特別適合在缺乏水位高差的地方使用(圖 9.)，僅需最少的土建工程和維護成本，即可透過渦流系統提供穩定、對環境影響小且具有成本效益的再生能源。



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 9.印度尼西亞巴厘島綠色學校裡的水輪機安裝調試

(三) 不需土建工程即可設置的漂浮式水力發電

Smart Hydro Power 是一家總部位於德國的環保工程公司，開發了被稱為“會游泳”的小水力設備(圖 10.~圖 11.)。浮動渦輪機隨水流工作，只要有水就能夠作用，不需要基礎設施，也不需要獲得水權同意。



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 10.智能單浮水輪機



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 11.智能運河水輪機

國外發展小水力發電的獎勵措施

以巴拿馬為例，隨著近年來電力需求的增加，巴國政府積極推動可再生能源，透過政策訂立來鼓勵替代能源發展，特別是在小水力發電部分。相關政策如下：

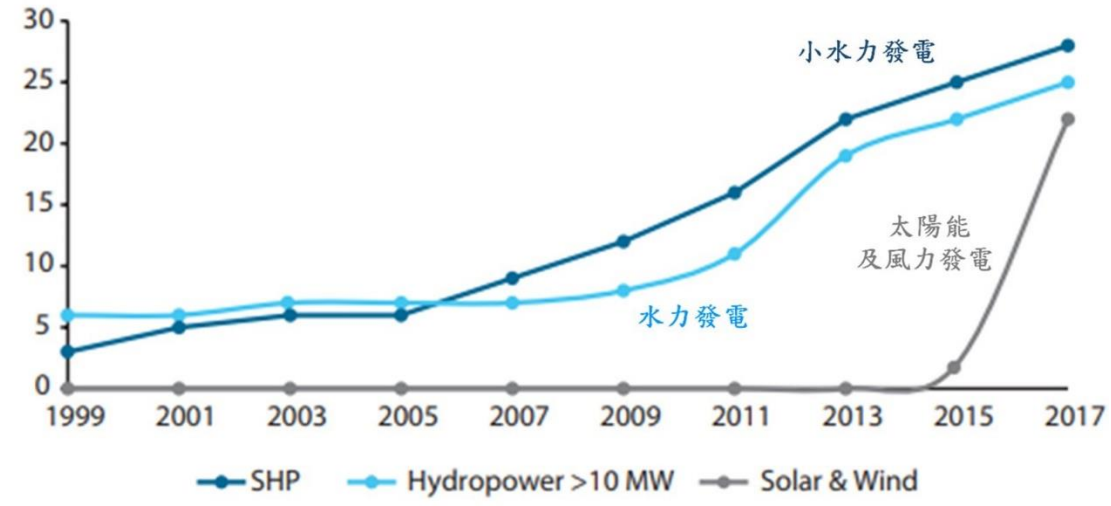
1. 廠商採水力發電方式所產生之電，如低於 10 兆瓦，其所賣的電不收取任何費用

2. 採用水力發電所產生介於 10 兆瓦到 20 兆瓦的電，在十年內首批所生產的 10 兆瓦的電免收費

3. 進口設備的財政豁免

4. 對低於 10 兆瓦的水力發電給予財政獎勵，並且以原始投資的 25%來獎勵每年減少二氧化碳的排放量

隨著政策的鼓勵，可看到小水力發電近年增加的幅度超過太陽能跟風力發電(圖12.)。



資料來源：UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 2019

圖 12.巴拿馬於 1999 到 2017 年間可再生能源的總數量

小結

1. 小水力發電在前期投資費用雖然較高，但其使用壽命較長，投資者可獲取長期發電所帶來的利基。

2. 小水力發電非常適合在多山、降雨量豐沛的地區，以日本為例，對於具備高落差、水量穩定的溪流、河川皆可以利用裝設小水力發電設備來獲取電力，值得台灣效仿。

3. 在高落差裝設水輪機，可透過上升魚梯的設計，既可節省裝設空間，又可解決魚類遷徙問題。

4. 參考國外案例，透過立法及獎勵措施，邀請廠商投資小水力發電於電力缺乏但有開發潛力的偏鄉地區，既可促進當地民眾就業機會，並可讓當地居民自主管理，或協助其發展透過小水力發電所帶來的乾淨能源，協助其開發其他特色商品，將可獲得更高的利益。

5. 開發替代能源已是現在進行式，像小水力發電所產生的乾淨再生能源，不僅

可提供電力，並符合聯合國倡導的永續發展目標。

6. 開發小水力發電將不再只是硬體設備的裝設，更要朝綠色小水力發電的目標發展，才可降低對環境的衝擊。

相關網站

1. 小水力發電配置(離槽式)(資料來源: Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox)

2. 小水力發電配置(離槽式) (資料來源: Practical ACTION)

3. 內建魚梯升降閘的小水力發電設備動畫展示(資料來源: Wawi Zraunig)

4. 再生能源發展條例(資料來源: 全國法規資料庫)

5. 渦流式水輪機展示(資料來源: Turbulent Hydro)

6. 智能水力發電解決方案(資料來源: smarthydropower)

7. 微水力發電系統(資料來源: ENERGY SAVER)

參考文獻

1. LIU, D., LIU, H., WANG, X., and Kremere, E., eds. (2019). World Small Hydropower Development Report 2019: Case Studies. United Nations Industrial Development Organization; International Center on Small Hydro Power. Available from www. smallhydroworld.org

2. Natural Resources Canada. (2005) An Introduction to Micro-Hydropower Systems., Natural Resources Canada.

➢ (三十)三維建模技術大躍進，多樣感測資料融合創造更多應用可能

近年來無人載具普遍應用於各個領域，加上感測器的進步，造就低空遙感探測技術蓬勃發展，這些遙感所得的 2D 影像資料，藉由 SfM(Structure from motion) 運動恢復結構技術去重建立體模型，更讓小範圍的數值地形模型(如圖 1)取得成本大幅降低，並廣泛用於研究、數值模擬與業務輔助。

本期藉由國內外應用案例的介紹，帶大家瞭解 SfM 技術除了常見的地表模型外，更可延伸至水下應用及刑案重建現場，以及無人飛行載具與手機拍照的異質資料如何整合、影像後處理方式等議題。



圖 1、惠蓀林場觀景台 3D 建模與地表數值模形。來源：水土保持局

SfM 技術完美還原實物及空間場景

無人載具應用場景多元，常見方式有小型多旋翼無人飛行載具，搭配不同感測器，如光學鏡頭、熱感測鏡頭、光達(LiDAR)、多光譜鏡頭等酬載，除了 2D 視覺應用之外，藉由空間連續性的平面影像結合空中三角測量(Aerotriangulation)，以 SfM 技術重建出的立體模型(如圖 2)，特徵與精度已可比擬既有 3D 掃描器成

果(如圖 3)。

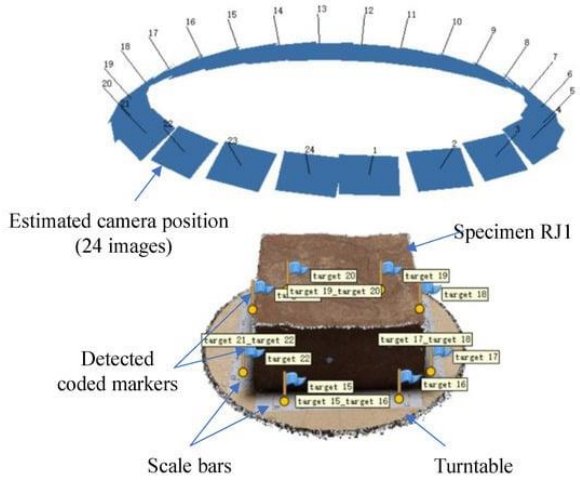


圖 2.由 Metashape 軟體重建的 RJ1 的 3D 模型。(An, Pengju, Kun Fang, Qiangqiang Jiang, Haihua Zhang, and Yi Zhang. 2021)

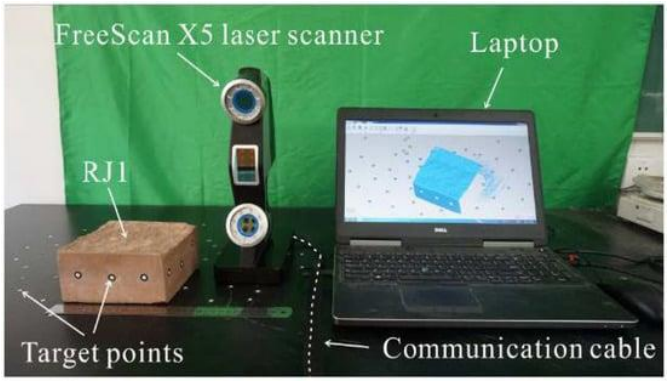


圖 3、研究室環境與既有掃描技術比較。(An, Pengju et al. 2021)

除了研究室環境現場調查也能搭配 CloudCompare 軟體處理點雲成果(Virtual compass 外掛輔助)，搭配立體投影圖，並用 FaultKin 8 軟體呈現劈理、節理等資訊(如圖 4)。或結合 QGIS 中的 GeoTrace 外掛呈現方位統計玫瑰圖(如圖 5)，輔助相關判釋。

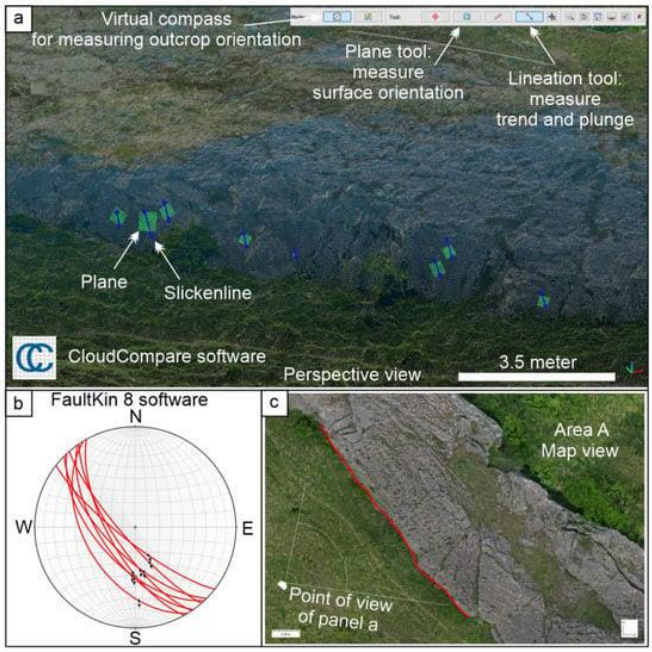


圖 4、搭配 CloudCompare 處理點雲成果(Virtual compass 外掛輔助)，搭配立體投影圖，並用 FaultKin 8 呈現地質資訊。(Cirillo, Daniele, Francesca Cerritelli, Silvano Agostini, Simone Bello, Giusy Lavecchia, and Francesco Brozzetti. 2022)

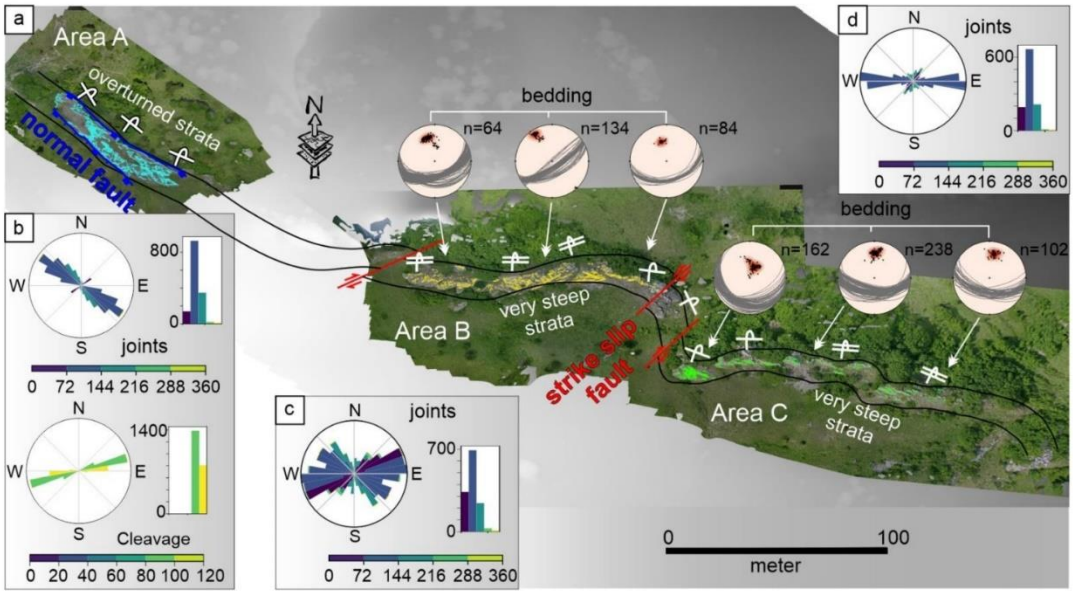


圖 5、研究範圍地質圖。(a)結合 CloudCompare、立體投影圖。(b,c,d)玫瑰圖由 QGIS 中的 GeoTrace 製作。(Cirillo et al. 2022)

水下物體及刑案現場 SfM 技術也能扮演重要角色

此外，藉由 SfM 技術結合水下無人載具影像、現地特徵點控制及體積比對，可在非接觸的方式下，觀測到珊瑚生長量(如圖 6)，又或者搭配高解析攝影裝置，應用在法醫重建現場鞋印時(如圖 7)，能避免實體翻模所造成的實體破壞。而攝影裝置的應用彈性高，也能在大型或無人載具難以進入的場合發揮功能，比如樣區林下測量，在複雜狹窄處，取得現場還原模型(如圖 8)。

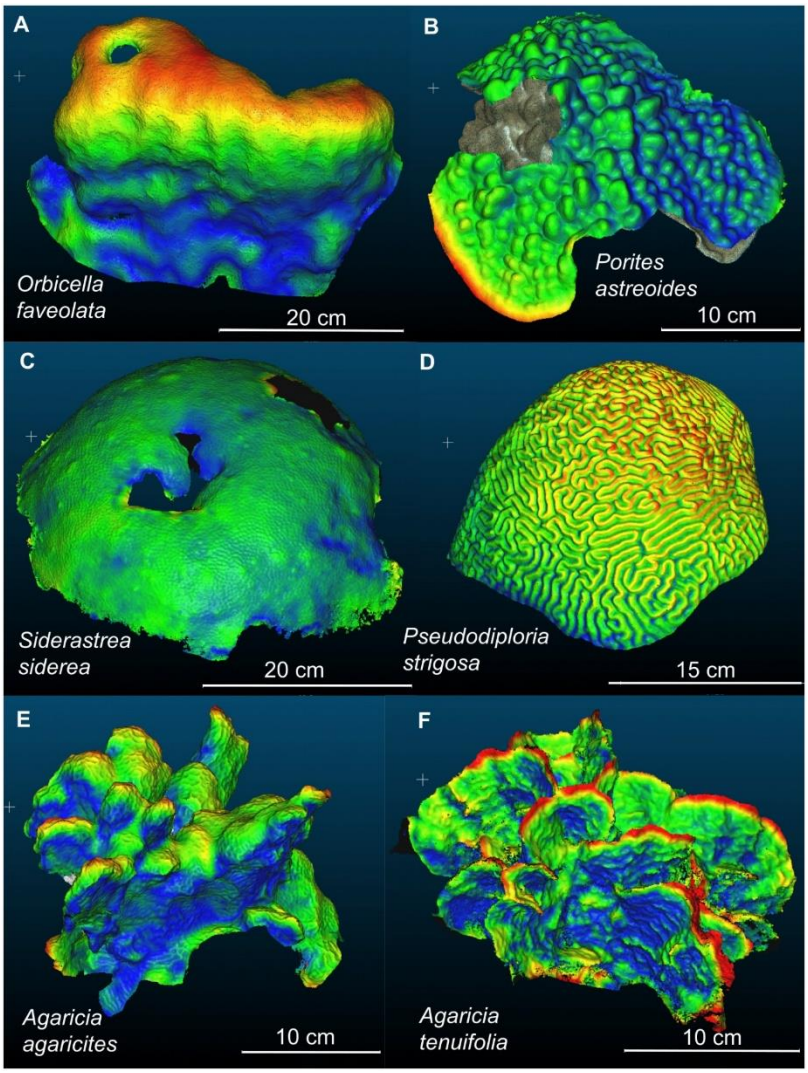


圖 6、以立體模型分析六種加勒比珊瑚(Caribbean coral species)的生長規模與狀態。(Ines D. Lange ,Ana Molina-Hernández,Francisco Medellín-Maldonado,Chris T. Perry,Lorenzo Álvarez-Filip, 2022)

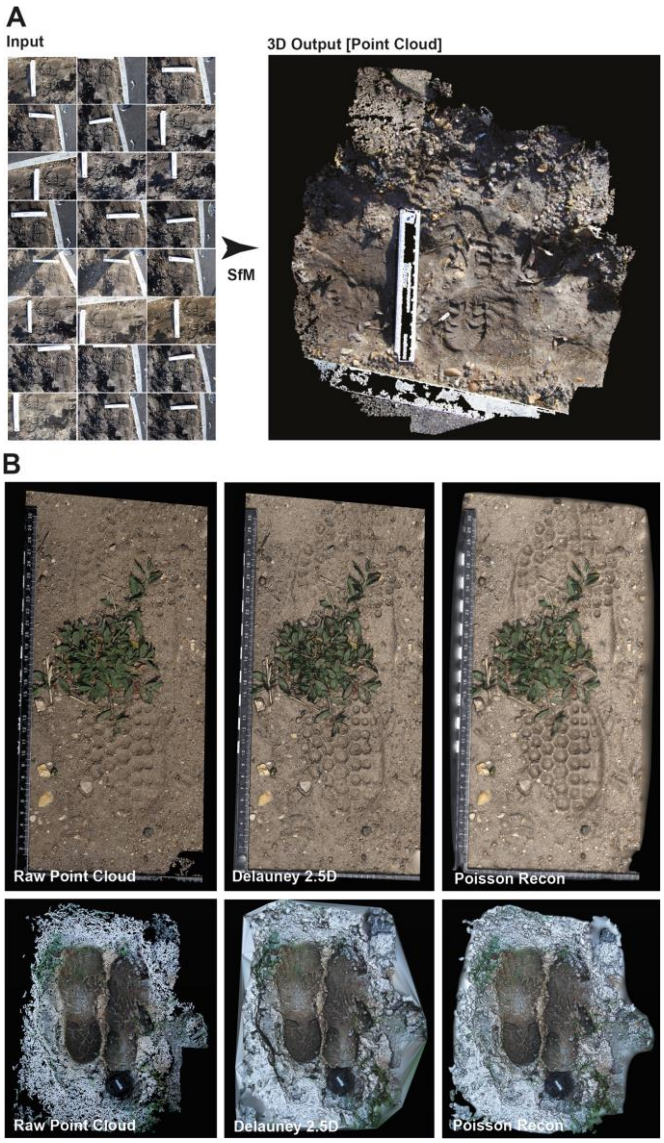


圖 7、法醫鞋印採證與模型重建。(Hannah Larsen, Marcin Budka, Matthew R. Bennett, 2021)

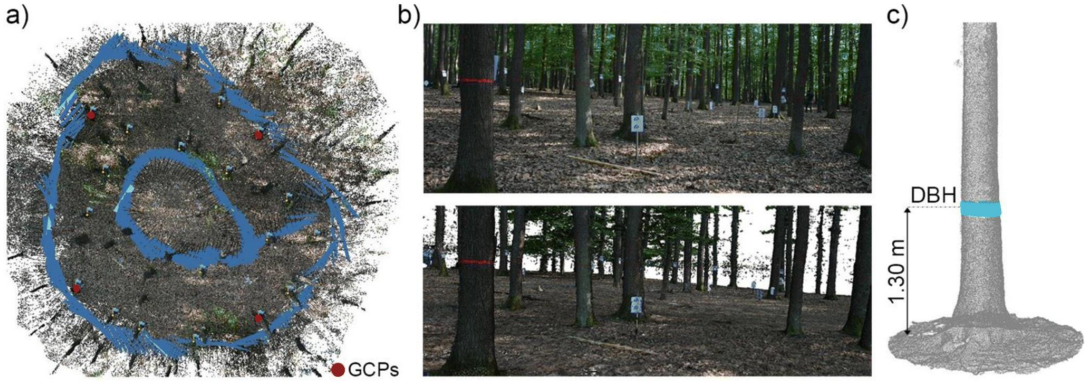


圖 8、林業樹木胸徑測量應用。(Jakob Iglhaut, Carlos Cabo, Stefano Puliti, Livia Piermattei, James O'Connor & Jacqueline Rosette.2019)

異質資料融合將提供更多可能的應用

SfM 也能結合不同設備優勢，整合光學影像重建的點雲及 LiDAR 的點雲，在活用各自精度與角度的優勢下，結合空中無人飛行載具 (如圖 9)與地面光達(如圖 10)建模，完成如 2014 年 5 月哈茨堡霍夫酒店火災現場的重建(如圖 11)。或是進一步融合光達與無人飛行載具資料，應用 Autodesk Revit 軟體產製古蹟建築資訊模型(Heritage Building Information Modeling, HBIM)(如圖 12)。



圖 9、無人飛行載具正射角度及控制點。(Isabel Martínez-Espejo Zaragoza et al. 2017)

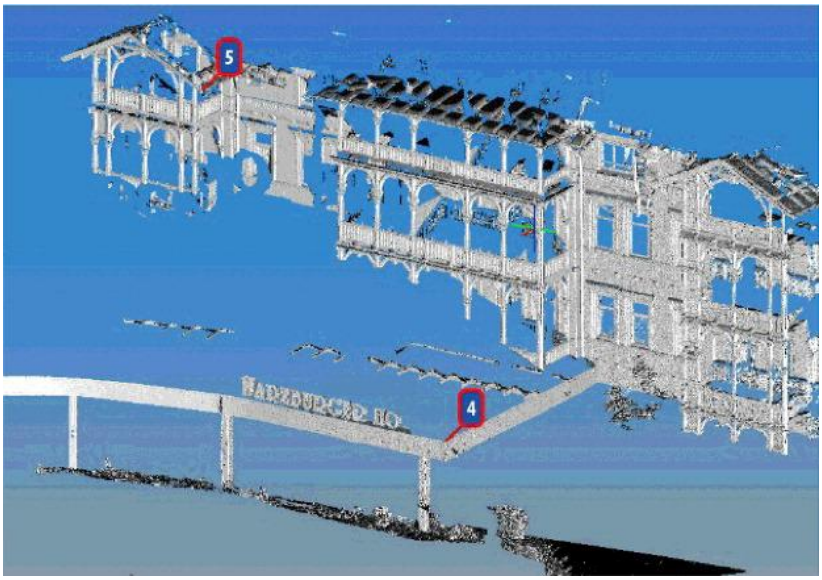


圖 10、地面光達角度。(Isabel Martínez-Espejo Zaragoza et al. 2017)



圖 11、哈茨堡霍夫酒店 2014 年 5 月火災(Harzburger Hof)。(Isabel Martínez-Espejo Zaragoza, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, Björn Riedel, Dieter Tengen & Wolfgang Niemeier ,2017)



圖 12、鐘樓融合成果：（a）整合 TLS-UAV 的綜合點雲;（b） 基於點雲生成的模型;（c） HBIM 模型的視覺化;（d） 建築物橫截面（內部）的視覺化。(Klapa et al. 2023)

同時在檢測業界，也在嘗試結合熱感測材質貼圖，偵測構造物裂損情況(如圖 13)，或應用熱感測、數值地形與多光譜資料，輔助智慧農業生產評估(如圖 14)，應用案例與資料型態多元，深具應用潛力。

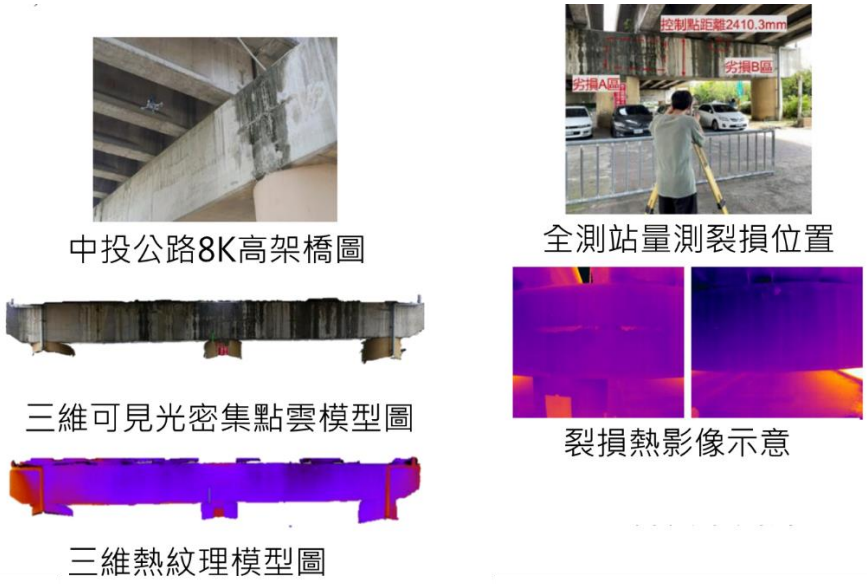


圖 13、熱感測與數值模型。(陳漢霖、高書屏、王豐良、林志憲，2022)

http://www.ce.nchu.edu.tw/Pic/Writings/16636863642629(1).pdf

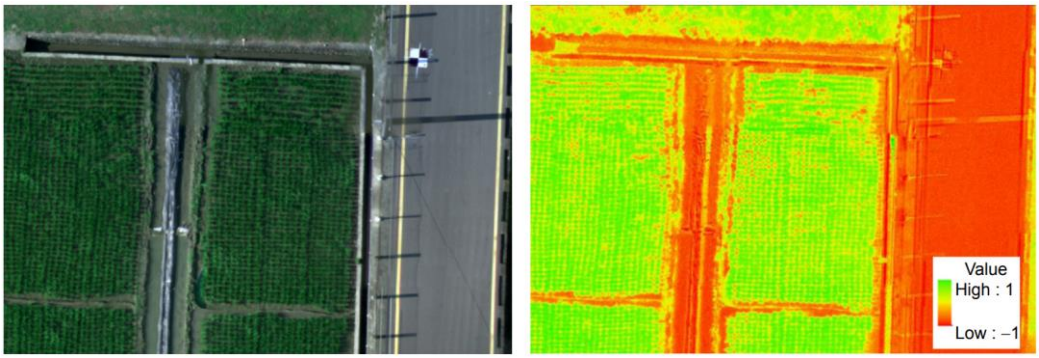


圖 14、無人飛行載具空拍水稻田農地影像，左為 RGB 套疊影像，右為 NDVI 影像。來源：科儀新知 220 期。

融合無人飛行載具及手機拍照成果的異質資料三維建模案例

好的資料產品或加值服務，需建立在完整的原始資料基礎上。SfM 技術的關鍵，除了影像的連續性與特徵連結外，影像本身 Exif 中的坐標詮釋資料也是至關重要。以水土保持局建立的惠蓀林場觀景台建模案例來說(如圖 15)，為了克服拍照時告示牌或構造物反光，以及無人飛行載具不易執行低空軌道拍攝問題，水保局技研小組團隊嘗試融合無人飛行載具及手機拍照成果來建立三維模型(如圖 16)。由於手機影像缺乏高程標籤，無法直接用來建模，技研小組導入 Content Capture 建模軟體，透過 SfM 特徵連結帶 xyz 的無人飛行載具影像組，將高程對應後寫入只帶 xy 的手機影像組(如圖 17)，順利完成二種異質資料的融合與建模。結果顯示成果，融合的成果除能充分呈現材質立面，連告示牌上的 QR 碼材質也清晰可見(如圖 18、19)，使用甚至可直接用手機掃描後，連線至惠蓀林場介紹網站。未來如能廣泛使用此技術，將能活用輕量設備，快速進入個案現場進行紀錄，並對細節作一定程度的還原。

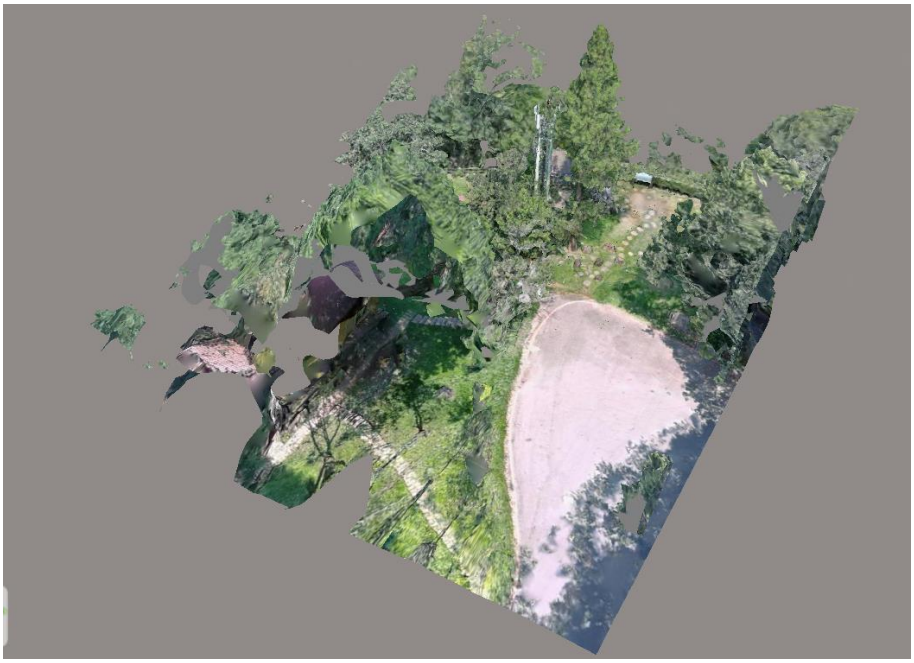


圖 15、惠蓀林場觀景台三維立體建模。來源：

https://tech.swcb.gov.tw/3D/2022/rt_0929/App/#%2F



圖 16、無人飛行載具軌道及手機照片組。來源：水土保持局。

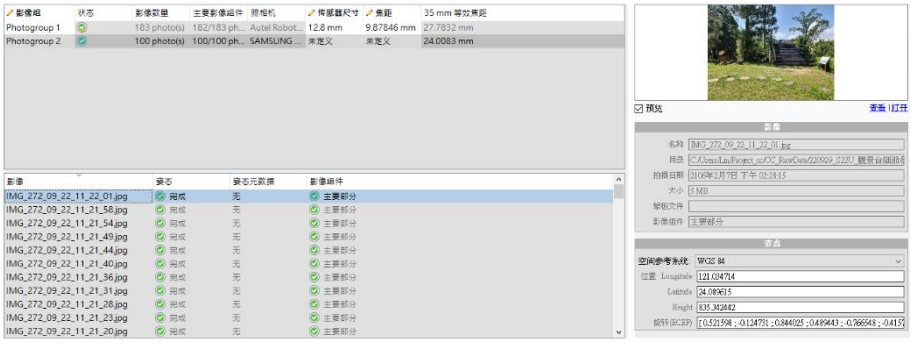


圖 17、透過 SfM 特徵連結將高程值寫入只帶 xy 的手機照片。來源：水土保持局。



圖 18、建模成果之觀景台告示牌金屬材質完美呈現。來源：水土保持局。



圖 19、建模成果的告示板 QR 碼完整且清晰還原。來源：水土保持局。

無人載具與資料應用已是普遍、成熟之技術，加上各領域分工及協作優勢，若能活用並整合各類感測器、載具平台、資料型態轉換等，對各種應用研究上，都具有相當大的潛力。加上光達技術的持續演進，與 eGNSS、RTK、PPK 等測繪技術的結合，未來在異質資料整合與解析度的提升上，更有著許多可能，藉由各領域研究成果交流、開放，期許能持續累積經驗，作為深化跨域協作與擴展應用的基礎。

相關連結

1. 科儀新知第 220 期-無人飛行載具於精準農業之應用：https://www.tiri.narl.org.tw/Files/Doc/Publication/InstTdy/220/02200202.pdf

參考文獻

1. Molina-Hernández A, Medellín-Maldonado F, Perry CT, Álvarez-Filip L (2022) Structure-from-motion photogrammetry demonstrates variability in coral growth within colonies and across habitats. PLOS ONE 17(11): e0277546.

2. Hannah Larsen, Marcin Budka, Matthew R. Bennett, (2021)Technological innovation in the recovery and analysis of 3D forensic footwear evidence: Structure from motion (SfM) photogrammetry,Science & Justice,Volume 61, Issue 4

3. Jakob Iglhaut, Carlos Cabo, Stefano Puliti, Livia Piermattei, James O'Connor & Jacqueline Rosette.(2019) Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. Curr Forestry Rep 5, 155–168

4. Isabel Martínez-Espejo Zaragoza, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, Björn Riedel, Dieter Tengen & Wolfgang Niemeier (2017) Structure from motion (SfM) processing of UAV images and combination with terrestrial laser scanning, applied for a 3D-documentation in a hazardous situation, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8:2, 1492-1504

5. Klapa, Przemysław, and Pelagia Gawronek. 2023. "Synergy of Geospatial Data from TLS and UAV for Heritage Building Information Modeling (HBIM)" Remote Sensing 15, no. 1: 128

6. 陳漢霖，高書屏，王豐良，林志憲(2022) 整合可見光影像與熱影像重建三維熱紋理模型於橋梁檢測之研究。航測及遙測學刊 第二十七卷 第 3 期 第 165-178 頁