

數位視覺化災害預警及展示技術開發

Digital Visualization Technologies for Disaster Early Warning and Scenario Demonstration

國家災害防救科技中心 坡地洪旱組

Slopland and Hydrology Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘要

本專案年度成果著重於數位視覺化災害預警及展示技術的開發。研究透過結合人工智慧與 HEC-RAS 2D 模式，發展二維河川洪峰模擬技術，並採用多種機器學習演算法進行訓練與驗證，以提升洪水預警能力。此外，利用水利署 1975-2023 年歷史流量數據，推估 2025-2040 年臺灣河川年最大流量變化，並應用 HVI 指數分析水文變異性。研究亦透過多年期海岸正射影像分析北海岸地形變遷。建置 4D 數位視覺化模組，以即時預警海嘯並重現歷史事件，提升災害應變與防範能力。

關鍵字：數位視覺化、河川洪峰、水文變異性、海岸正射影像、4D 數位視覺化模組值

ABSTRACT

The annual outcomes of this project emphasize the development of digital visualization techniques for disaster early warning and presentation. This study integrates artificial intelligence with the HEC-RAS 2D model to devise a two-dimensional simulation technique for river flood peaks. Various machine learning algorithms are employed for model training and validation to improve flood forecasting capabilities. Furthermore, historical discharge data from the Water Resources Agency (1975–2023) are utilized to estimate variations in annual maximum river discharge across Taiwan from 2025 to 2040, with the Hydrological Variability Index (HVI) applied to evaluate hydrological variability. The research also conducts multi-temporal orthophoto analysis to assess topographic changes along Taiwan’s northern coast. Additionally, a 4D digital visualization module is established to deliver real-time tsunami warnings and reconstruct historical tsunami events, thereby enhancing disaster response and prevention capacities.

Key Words: visualization, river flood, rainfall, coastal orthophoto, 4D digital visualization module

一、前言

近年來，極端氣候事件頻繁發生，對臺灣的水文環境與災害管理帶來嚴峻挑戰。為提升防災應變能力，本研究聚焦於數位視覺化技術在災害預警與展示方面的應用。透過結合人工智慧與 HEC-RAS 2D 模式，本研究發展二維河川洪峰模擬技術，並應用多種機器學習演算法進行模式訓練與驗證，以提升洪水預警的準確度 (Bates et al., 2010)。此外，利用水利署 1975-2023 年歷史流量資料，推估 2025-2040 年間臺灣河川年最大流量變化，並透過水文變異性指數(HVI)分析未來水文變動趨勢(Villarini, et al., 2012)。研究亦應用多年期海岸正射影像技術，分析北海岸地形高程變遷，以評估海岸侵蝕與土地利用變化的影響。同時，開發 4D 數位視覺化模組，建置即時海嘯預警與歷史事件重現系統，以提升災害應變與決策輔助能力。本研究的成果可提供更準確的水文與地理資訊，協助防災單位制定更有效的應對策略。

二、專案重要性

本研究的研發成果在防災應用、氣候變遷調適與數位視覺化技術發展等多方面具有重要意義。透過人工智慧與 HEC-RAS 2D 模式的結合，本研究計畫發展出高準確度的二維河川洪峰模擬技術，有效提升洪水預警能力。洪水災害是臺灣最常見的天然災害之一，影響民生與經濟甚鉅，準確的洪水預測可幫助相關單位提前應對，降低災害損失。此外，本研究計畫採用長短期記憶(LSTM)、極限梯度提升(XGBoost)、決策樹迴歸(DTR)等多種機器學習演算法進行模式訓練與驗證，以確保模擬結果的穩定性與精確性，這對未來洪水預警系統的發展具有重要參考

價值。

本研究計畫亦透過水利署 1975-2023 年的歷史流量數據，推估 2025-2040 年間臺灣河川年最大流量變化，並應用水文變異性指數(HVI)進行水文變異性分析。隨著全球氣候變遷加劇，極端降雨事件頻率增加，臺灣河川流量的不確定性亦隨之提升。本研究的分析結果可為政府與水利機構提供參考，協助制定長期水資源管理與防洪策略，降低氣候變遷對水資源的衝擊。

此外，本研究計畫利用多年期海岸正射影像，分析北海岸地區（如新北市石門區老梅、金山區永興及中角地區）地形變遷與海岸侵蝕情形，這對於沿岸環境監測與防災決策至關重要。透過高解析度影像與數值高程模型(DEM)，可有效追蹤海岸線變遷，進一步分析颱風、海嘯或海平面上升對海岸地區的影響。本研究的成果可用於監測臺灣其他沿海地區的變遷，提升海岸管理與防災規劃的科學基礎。

本研究計畫建置 4D 數位視覺化災害預警展示模組，不僅能夠提升海嘯模擬效率(可在 40-50 秒內模擬 24 小時的太平洋海嘯波傳播)，還能夠即時預警海嘯並重現歷史海嘯事件(Zhang and Niu, 2019)，例如 1960 年智利大地震與 1964 年阿拉斯加地震引發的海嘯。本模組將整合至災防科技中心 WATCH 網站，提供決策者與公眾即時查詢與視覺化展示，讓防災資訊更加直觀，提升社會大眾對於災害風險的認知與準備。

三、 專案亮點成果

本研究計畫的研發成果涵蓋洪水模擬、水文變異性分析、海岸地形監測及 4D 數位視覺化技術等多方面的創新發展，提升臺灣在災害預警與防災應變上的科技能力。以下為本研究的主要亮點成果：

1. 發展高準確度二維河川洪峰模擬技術

本研究結合人工智慧與 HEC-RAS 2D 模式，建構高準確度的洪水模擬技術，並採用多種機器學習演算法(如長短期記憶(LSTM)、極限梯度提升(XGBoost)、決策樹迴歸(DTR)等)進行訓練與驗證，以提升模擬的穩定性與準確性。

應用場域：本技術已在大安溪水尾堤段進行測試，驗證了 ETR 模式(Extra Tree Regression)能夠準確模擬變狀河道的洪水深度空間變化，並滿足二維洪水預警與視覺化展示的需求(圖 1)。

技術創新：透過 AI 強化數值模式運算，提升洪水模擬的時效性與預測精度，為防洪與水資源管理提供更可靠的決策支援。

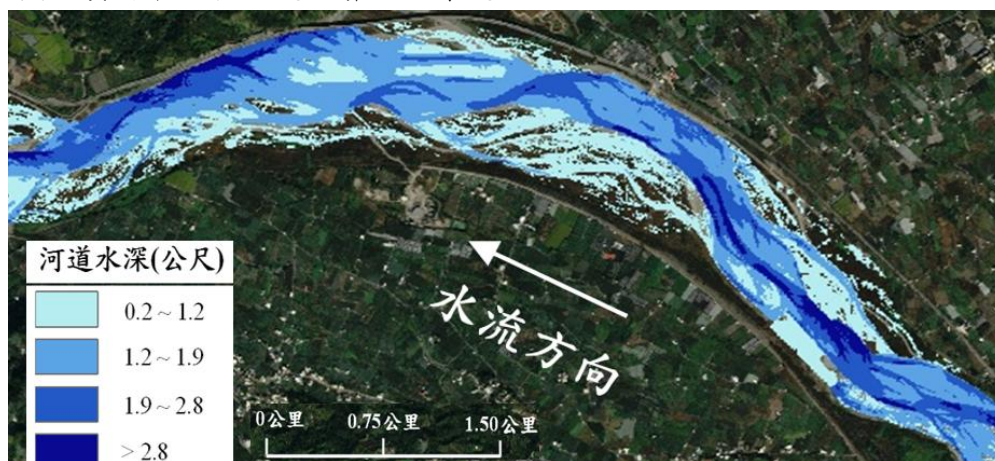


圖 1. ETR 模式於大安溪水尾堤段 2 年重現期距條件下之洪水深度模擬結果

2. 應用資料驅動模式推估臺灣未來河川流量變化

本研究利用水利署 1975-2023 年的歷史流量記錄，透過六種不同的資料驅動演算法推估 2025-2040 年臺灣河川年最大流量，並進一步使用 Bootstrap 演算法進行取樣，分析未來水文變遷趨勢。

應用場域：建立水文變異性指數 (HVI, Hydrological Variability Index)，評估臺灣主要河川未來流量增減幅度，有助於水資源調配及防洪規劃。

技術創新：透過數據驅動方法取代傳統統計推估，提升水文變異性分析的準確度，並能將測站數據插值到全臺範圍，提供水文資料視覺化展示功能(圖 2)。

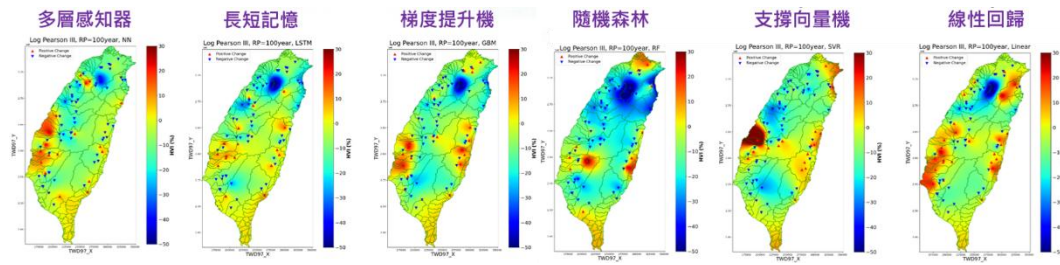


圖 2. 六種資料驅動方法推估 100 年重現期全臺未來流量增減百分比

3. 多年期海岸正射影像分析，精準監測北海岸地形變遷

本研究透過多年期海岸正射影像，進行北海岸地區(圖 3 新北市石門區老梅、金山區永興及中角地區)的地形變遷與高程分析，監測海岸侵蝕與土地利用變遷。

應用場域：透過數值高程模型(DEM)，比較不同時期的海岸線變化，特別針對 0 公尺、1 公尺、2 公尺高程線進行分析，評估颱風、海嘯或海平面上升的影響。

技術創新：結合固定建築物作為參照點，調整不同年度影像的高程系統誤差，提高海岸地形監測的準確性，並提供長期監測機制，有助於沿岸環境管理與防災規劃。



圖 3. 北海岸中角地區多年期海岸 2 公尺高程線變化

4. 建置 4D 數位視覺化災害預警與展示模組

本研究成功開發 4D 數位視覺化技術，應用於海嘯模擬與歷史事件重現，並大幅提升海嘯模擬的計算效率。

應用場域：本技術可在 40-50 秒內模擬 24 小時的太平洋海嘯波傳播，並已整合至災防科技中心 WATCH 網站，提供即時查詢與視覺化展示功能(圖 4)。

技術創新：4D 數位模組可模擬並視覺化 1960 年智利 9.5 級大地震及 1964 年阿

拉斯加 9.2 級大地震所引發的瞬時海嘯波高分布，幫助決策者與公眾理解海嘯風險，提高防災準備與應變能力。

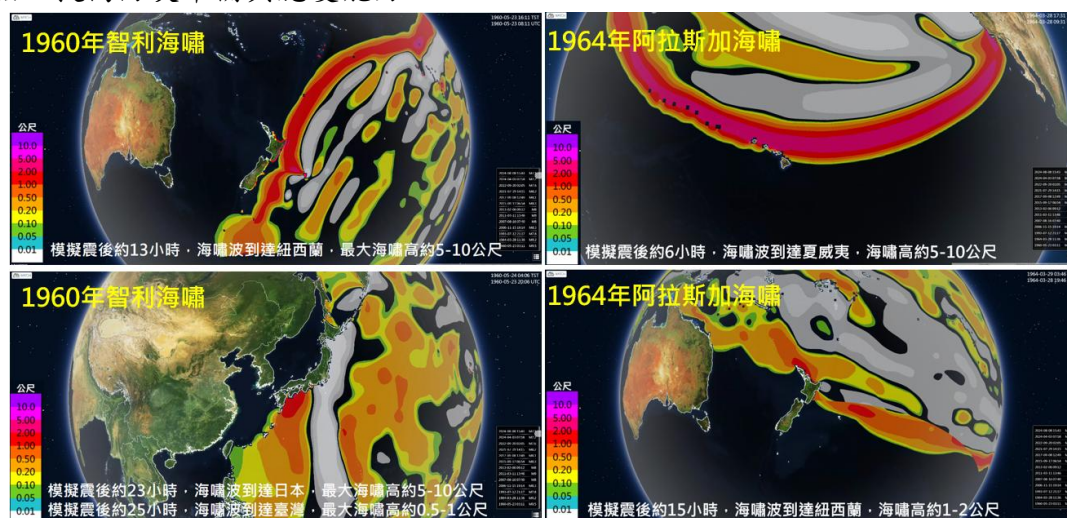


圖 4. 數位視覺化模組展示模擬歷史海嘯事件瞬時海嘯波高空間分布

四、 結論與建議

本研究透過數位視覺化技術、人工智慧與水文數據分析，發展一系列高效能的災害預警與展示技術，以提升臺灣在洪水、河川流量變遷、海岸地形監測與海嘯預警等領域的防災應變能力。

透過結合人工智慧與 HEC-RAS 2D 模式，本研究發展出高準確度的二維河川洪峰模擬技術，並採用多種機器學習演算法進行模式訓練與驗證，以提升洪水預測的穩定性與準確性。特別是在大安溪水尾堤段測試顯示，ETR 模式能夠有效模擬瓣狀河道的洪水深度空間變化，提升洪水預警系統的實用性。

透過分析水利署 1975-2023 年的歷史流量記錄，本研究運用六種數據驅動演算法推估 2025-2040 年間臺灣河川年最大流量變化，並採用水文變異性指數(HVI)評估水文變遷趨勢。研究結果顯示，未來臺灣部分河川流量可能因極端氣候影響出現顯著變異，對於水資源管理及防洪策略制定提供重要依據。

透過多年期海岸正射影像與數值高程模型 (DEM)，本研究分析新北市石門區老梅、金山區永興及中角地區的海岸侵蝕與地形變遷情形，發現部分地區的海

岸線呈現明顯後退趨勢，顯示出海平面上升、風暴潮及颱風對沿岸環境的影響。本研究建立了一套高精度的海岸監測技術，可作為未來臺灣沿岸地區長期監測與防災應用的重要參考。

透過 4D 數位視覺化技術，本研究成功開發出高效能的海嘯模擬與歷史事件重現系統，能夠在 40-50 秒內模擬 24 小時的太平洋海嘯波傳播，並已整合至防災科技中心 WATCH 網站，提供即時查詢與視覺化展示功能。該系統可模擬 1960 年智利 9.5 級大地震與 1964 年阿拉斯加 9.2 級大地震所引發的海嘯波高變化，對於提升政府與社會大眾的海嘯防災意識具有重要意義。

建議將本研究發展的河川洪水模擬技術與氣象預報系統進行整合，以提供更即時、準確的防洪預警資訊。進一步擴充水文資料來源，納入遙測技術（如衛星影像、LiDAR 掃描），提升水資源變遷監測能力。海岸正射影像分析技術可應用至全臺主要沿海地區，建立定期監測機制，以評估長期海岸線變遷趨勢，提供科學依據以應對海平面上升及極端氣候影響。4D 海嘯模擬與洪水預警技術，進一步應用於中央及地方防災應變中心，提供更直觀的視覺化決策工具，提升防災決策效率。

五、 參考文獻

- Bates, P. D., Horritt, M. S., & Fewtrell, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.027>.
- Villarini, G., Smith, J. A., Serinaldi, F., Ntelekos, A. A., & Schwarz, U. (2012). Analyses of extreme flooding in Austria over the period 1951–2006. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1178-1192. <https://doi.org/10.1002/joc.2331>.
- Zhang, X., Niu, X. (2019). Probabilistic tsunami hazard assessment and its

application to southeast coast of Hainan Island from Manila Trench.

Coastal Engineering, 155, 103596.

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103596>.