

韓國數位孿生應用 智慧水環境管理與應變策略

梁庭華¹

一、前言

根據比利時魯汶大學災害流行病學中心（The Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED）2022年發布之數據（圖1），現實世界中發生的自然災害中有73%屬於洪水和颱風，長期下來造成巨大經濟損失，此亦顯示無論在哪個國家，發展有效預防災害發生的水管理手段皆為一個重要議題。

近年來，受氣候變遷影響，各地出現洪澇、水質惡化、水生生態破壞及綠藻等複雜的水環境問題。此外，在水資源綜合管理時代，透過統一水管理進行高效水量管理的需求也日益顯現，並需要能夠立即應對各種水問題的手段，例如應對乾旱、洪水及有效管理配水和河流設施。

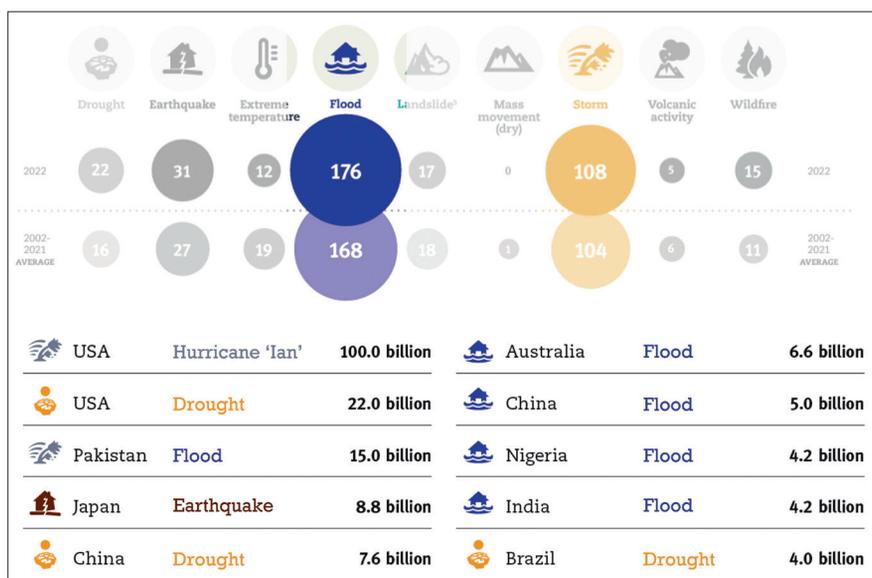


圖1. 依災害類型劃分的發生次數（上）及2022年前10大經濟損失。（2022年與2002~2021年平均相比）
資料來源：CRED, 2022。

註1：農業科技研究院產業發展中心。

水務部門既是能源消耗者，也是再生（或環保）能源的供應者，高效率的水管理可以在每個水網階段減少至少20%溫室氣體排放，有鑑於此，韓國政府除將四散的水管理部門統一由韓國環境部統籌管理，並於2022年發布了「第一個國家水管理基本規劃2021-2030年」，以以人為本，並追求自然與人類的平衡，並分為三大推動策略及九大推動任務進行水管理計畫，其中策略二為「智慧水務研究、分析及資訊化管理系統」，由環境部與科技部結合其他部門聯合建立水資訊資訊整合平臺，其中與數位孿生相關的則是韓國國家環境研究所正積極投入發展的「水環境數位孿生計畫」。

數位孿生（Digital Twin），亦可稱為數位雙生，是一種可將物理世界物件的動靜態資訊同步至資訊世界的系統虛擬模型，可幫助使用者透過模擬（Simulation）、機器學習（Machine Learning）和推理做出決策。水環境數位孿生作為下一代技術備受關注，該技術將引領考慮水質、水生態和水循環影響的綜合智慧水管理。此外，將基於水質水量資訊建構的水環境資料應用於數位孿生，亦可對缺水、綠藻、河川污染等水環境中的脆弱因素進行提前監測、診斷和預測，以實現快速解決問題解決。再者，它還可以透過綜合考慮整個水循環和水環境，為制定水資源相關政策和決策支援做出貢獻。與現有的水環境數位資訊系統不同，數位孿生具有出色的易讀性

（legibility）和可見性（visibility），建構的資訊可以即時再現和模擬。為此，韓國國家環境研究所正在執行包含透過複製天氣、流域、污染源、生活、工業和農業供水、農業廢水、污水處理廠和水網等詳細而複雜的數據元素來提出解決方案，並與韓國水資源公司（K-water）配合建造國家乾旱資訊分析系統、水庫智慧安全管理項目、蟾津江流域數位水管理平臺及水庫和河流數位孿生等項目。

韓國在緯度上較高，屬於溫帶大陸性濕潤氣候與副熱帶濕潤氣候，而我國的緯度較低屬於亞熱帶季風氣候與熱帶季風氣候，存在氣溫上的差異。然而，就地形地勢而言，我國與韓國在地形地勢有許多相似之處，同樣在東側屬於多山的地形，一般情況下流向東部沿海的河川河道通常短促且坡度較陡；而流入西部海岸的河川通常河道較長且坡度較緩。此外，韓國與我國雨季均集中在夏天，且同樣有梅雨季。與其他國家河川相比，臺灣與韓國同屬集水面積較小且坡度較陡，造成在極短時間產生大量逕流的特性，只是我國（74%）河川坡陡流急的情況更甚韓國（57%）。於水資源管理上，韓國環境部為管理國家水資源管理的主要機構，韓國水資源公司（K-water）則是在其授權下的國有企業，農業用水則由韓國農村社區公社（한국농어촌공사）協助；反觀我國主要水資源管理為經濟部水利署（簡稱水利署）負責管轄，農業用水相關

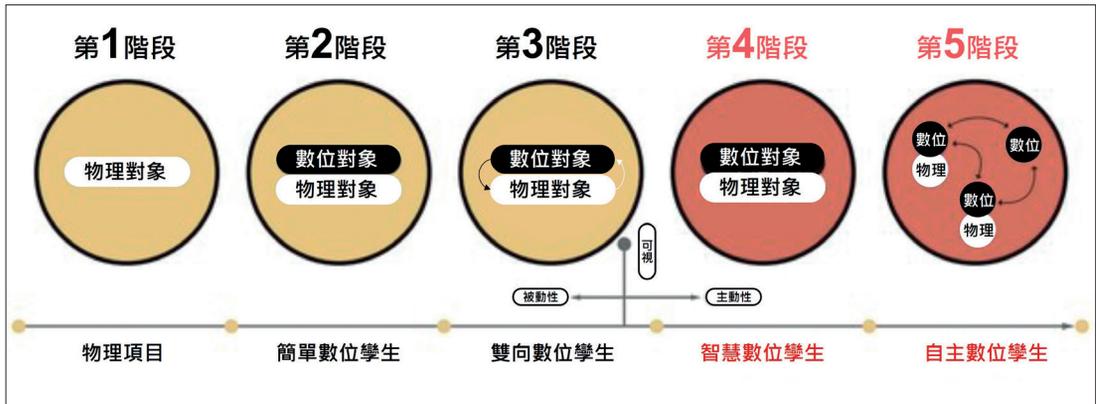


圖2. 數位學生4階段模型。
資料來源：利用數位學生的智慧水環境管理與應變計畫。

則為農業部農田水利署（簡稱農田水利署）負責。如前敘述，雖然我國與韓國的水管理負責部門不一樣，但是在地形地勢、河川特性及雨量集中度上則非常相似，期藉由本篇報告分享韓國在水環境資源管理上的先進策略，能提供臺灣相關部門參考。

二、在互動式綜合模型層面建構技術

數位學生最大的挑戰莫過於「虛擬世界完整反映實體世界的資訊流程」，是實體物件、系統或流程的虛擬表示或數位對應物。是使用即時數據、模擬和建模技術創建，以反映其物理對應物的行為、特徵和性能。數位學生廣泛應用於製造、醫療保健、運輸和能源等各個行業，以優化性能、監控營運並促進決策。需要彙整來自不同領域模型資料，數位學生其發展模型分為以下階段：第1階段物理物件模型；第2階段物理物件簡單

鏡像（Mirroring）；第3階段互動式數位學生；第4階段智慧／綜合數位學生；第5階段全局／自主數字學生。根據模型階段的的不同，所應用的資料項目和操作量也有所不同，國立環境研究所的目標是在第3至第4級層級建構互動式和綜合的模型技術。

此外，數位學生系統分為以下流程：第一階段監測、第二階段診斷、第三階段預測和第四階段控制。其中，數位學生的主要核心功能是監控。水環境監測以測量網路數據為中心，必要時可透過短期模擬收集原因分析與診斷階段，針對水循環、供水與需水進行診斷，並利用監測資料綜合分析水環境問題。在診斷過程中，計劃利用國立環境研究所掌握包括污染源等各種詳細數據。

於預測階段（第三階段）回顧已診斷問題的未來可能發展，在最後的控制階段，導出對水環境影響最小化的問題解方。對於在使用數位學生的

企業中，收集各種資訊並有效地向最終用戶提供解決方案的能力是非常重要的，水環境數位孿生透過對水質、水生態、水循環、氣候變遷模型的可視化與綜合評估，實現數據分析、場景建模、政策決策支援等多種用途。

三、根據解析度可以縮短模擬時間

數位孿生總共設計有四種結構：輸入資料、地表／流域模型、河流／湖泊模型和水分布模型。構成數位孿生的每個資料元素都有不同的特徵。因此，韓國設計了這樣的結構，透過在數據之間安裝轉換器 (converter)，使數據可以有機地交換和模擬，稱為有機數據 (organic-data)，指稱為在沒有系統的研究設計或計劃的情況下產生或收集的數據。(反之則為designed-data)。所有數

據和模型都經過結構化，以便可以相互結合進行模擬，並且每個數據元素都可以單獨模擬和「可視化」。

輸入資料是為監測而建構的，包括測量資料、流域、供水、生活、工業和農業用水及枯水河道等資訊，分為靜態資料及動態資料。國家環境研究所使用全國陸地表面和流域模型來補充無法從測量數據獲得的資訊。目前使用的是美國國家大氣研究中心 (National Center For Atmospheric Research, NCAR) 的WRF-HYDRO GLDAS 模型。WRF-HYDRO 主要包括不同尺度的陸面模式與匯流模塊，陸面模式均在尺度較大的1km網格；水文匯流則是在尺度較小的100m網格，如地表逕流等。WRF-HYDRO 是一個將土地覆蓋和土壤特徵從簡單模型發展到網格模型的模型。如果將此模型應用於洛東江流域，則可以預測

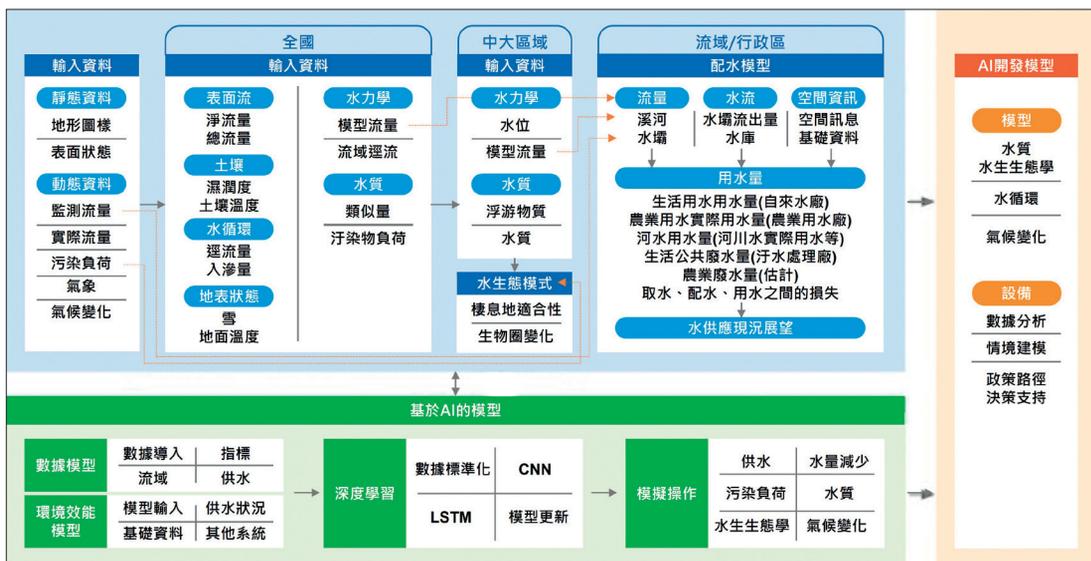


圖3. 水環境數位孿生結構及主要功能。
資料來源：利用數位孿生的智慧水環境管理與應變計畫。



圖 4. 利用數位孿生技術的綜合流域管理。
資料來源：韓國國家水管理基本計畫。

約 10 天，其模擬時間因模型解析度而異，國立環境研究所計劃建立分辨率為 100m 的模型。

全國流域模型包含土地恢復、土壤、水循環、水力學、水質等數據，可用於分析支流／水庫流入量、可用水資源、土壤濕度／乾旱指數、森林火災風險、城市火災風險等數據。用作熱島和氣候變遷影響評估的資訊。此外，透過流域模型模擬，可以瞭解支流的流量如何影響乾流。中大型河湖模型包含水力學、水質等數據，據此可預測水生環境適宜性和生物圈變化。依流域和行政區建立的供水供需模型，包括河流、水壩流入等流量、供水量、空間資訊、需求量及供水現狀和前景等數據。需求項目包括生活／工業用水取水量、農業用水性能抽水量、河水取水量、生活／工業用水廢水量、農業廢水量、供應過程中的水損失量。

四、透過連結天氣資料開發單向建模

國家環境研究院利用韓國氣象廳提供的數據開發氣象（氣候）模型，該模型是水環境數位孿生的基本要素，並計劃將其用作基於分類數據的全球模型根據空間分辨率和預測時間。正朝著將國內外氣象資料應用並連結至 WRF-HYDRO 模型，進一步轉化為可單向建模之資料的方向推展。目前的天氣模型能夠模擬大約 10 天的時間。

此外，透過基於地理資訊系統（GIS）重建現有的模式圖格式來利用配水模型，使各種與水有關的設施資訊與 GIS 相連，特別是應用農業排水資料，是由簡單的索引型資訊（堆疊資料表）組成，導致詳細分析困難及排水資訊的利用受到很大限制。因此，國家環境研究所計劃利用排水水庫運作效能數據來完善詳細的排水資訊系統。計劃將最新的位置資訊

(GIS) 和與排水相關的詳細資訊建立到資料庫中，並透過樞紐分析分配供水管網識別號，以便收集比以前更詳細的資訊，流程如右圖5所示。

五、總結

2022年韓國國家水管理委員會通過「第一次國家水管理基本計畫」，包含基於數位孿生整合水循環過程的流域管理，期推動水質、水量、水生生態綜合監測、加強地表水與地下水銜接措施、按供需水優化技術等綜合水管理技術的發展。韓國水環境數位孿生計畫透過結合物理世界與虛擬世界的技術，實現對水資源的監測、診斷、預測和控制，可有效應對氣候變遷、水質惡化、水生生態破壞等問題。

臺灣與韓國在地形地勢、河川特性、雨量集中度等方面有許多相似之處，韓國水環境數位孿生計畫的經驗亦可供我國相關部門參考，相關建議如下：

- (一) 建立水環境數位孿生平臺：借鏡韓國，建立涵蓋水質、水生生態、水循環等資訊的水環境數位孿生平臺，實現對水資源的智慧管理。
- (二) 強化水環境監測：建立密集的水環境監測網路，收集水質、水量等相關數據，奠定數位孿生平臺提供基礎資料。
- (三) 發展水文模擬技術：發展高解析度的水文模擬技術，提升數位孿生平臺的預測準確度。

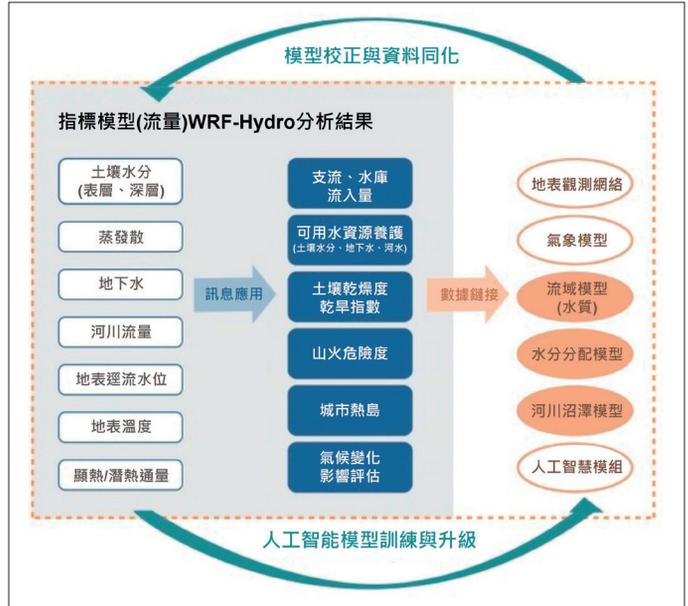


圖5. 地表模型生產訊息及數據庫應用流程。
資料來源：利用數位孿生的智慧水環境管理與應變計畫。

- (四) 推動資料開放與共享：開放水環境相關的資料，促進資料共享與應用。
- (五) 培育人才：培育水環境數位孿生相關的人才，推動技術發展與應用。

因應上述跨部會的工作內容，未來可由水利署可主導水環境數位孿生平臺的建置，並整合各相關單位資源；農田水利署可負責水環境監測網路的建置與管理；相關學術單位可發展水文模擬技術；內政部開放資料稽核委員會可推動水環境相關資料的開放與共享；教育部可協助培育水環境數位孿生相關的人才；透過上述措施，逐步建置我國完善的水環境數位孿生系統，進而提升水資源管理的效率與效益，有效應對水資源挑戰。

(參考文獻請逕洽作者)