

地理資訊系統於災害管理之運用

Application of GIS in Disaster Management

張子瑩 Tzu-Yin Chang[※]

尚榮康 Rong-Kang Shang^{※※}

郭攻君 Mei-Chun Kuo^{※※}

摘要

台灣因地理位置特殊，經常面臨颱風、洪水、地震等自然災害的威脅。利用資訊系統，連結過往災害經驗，持續改善災害管理的作業流程，將有助於提升台灣整體抗災能力。地理資訊系統（GIS）作為空間資料的整合平台，已成熟運用在災害管理的減災、整備、應變和復原等主要階段，包括減災時的風險評估、整備階段的兵棋演練、應變作業的情資綜整與決策支援、復原重建時期的災損分析及策略研擬，都有結合 GIS 建立應用典範的實例。本文以國家災害防救科技中心近 10 年來，針對災害管理不同階段之需求，運用空間資訊為基礎所開發的各種應用系統為例，說明 GIS 可提供的功能及對災害防救作業的助益。

受惠於科技進步，新興的資訊蒐集、分析及展示技術應運而生，GIS 也與行動通訊、物聯網、大數據及多維度空間資料相融合，升級為可即時感知、模擬預測和主動示警的動態監測決策輔助平台，透過空間資訊數位孿生系統的推進，大幅強化災防管理服務的量能。未來可更著眼於空間資訊與人工智慧之搭配，進一步朝精準防災的方向推動。

關鍵字：地理資訊系統、災害管理、數位孿生

※國家災害防救科技中心研究員。

※※國家災害防救科技中心助理研究員（通訊作者：rkshang@ncdr.nat.gov.tw）。

※※國家災害防救科技中心助理研究員。

Abstract

Due to its unique geography, Taiwan often faces the threat of natural disasters, such as typhoons, floods, and earthquakes. Continuous improvement of disaster management procedures through the use of information systems and linking past disaster experiences will help enhance Taiwan's overall disaster resilience. The Geographic Information System (GIS), as a platform for spatial data integration, has been used at maturity during key stages of disaster management such as mitigation, preparedness, response, and recovery. Including risk assessment, tabletop exercises, intelligence synthesis, decision support, and casualty analysis, all have examples of how GIS can be used to develop application models. This article uses the different application systems developed by the National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) over the past 10 years as an example to illustrate that GIS can benefit disaster reduction and rescue operations.

Advances in science and technology have led to the development of new technologies for the collection, analysis, and display of information. GIS is also being upgraded to offer real-time perception, simulation prediction, and active alert capabilities by incorporating mobile communications, IoT, big data, and multi-dimensional spatial data. As spatial information and the digital twin have evolved, the capacity of disaster management services has been considerably strengthened. Going forward, we will focus on the combination of spatial information and artificial intelligence to drive accurate disaster reduction.

Keywords: GIS, disaster management, digital twin

壹、前言

災害，尤其是地球自然營力所造成的天然災害，一直影響著全球諸多國家，像是颱風、洪水、龍捲風、地震和火山爆發等，無法完全被事先預測及防範。隨著科技和社會的進步，面對災害事件，已從早期的聽天由命，進步到透過相關災害應變機制的建立，降低災害產生的損失。地理資訊系統（GIS），具備資料收集、資料管理、數據分析、資料展示等功能，而在處理各種類型災害應變的決策過程中，絕大多數都會涉及空間資訊的應用。災害應變人員迫切需要即時的地理空間資訊，來處理複雜的救災避難課題。運用 GIS 的空間分析能力，可以協助評估大型災害事件發生時，受影響的區域範圍、基礎設施的安全、救災資源的分布與供給等，運用視覺化與多維度之圖層轉換和套疊，使各機關能更有效地進行情資交換與分享協作，合作解決天然災害帶來的挑戰。

貳、災害管理與 GIS

災害管理，一般可分為減災(mitigation)、整備(preparedness)、應變(response)和復原(recovery)等四個階段(FEMA, 2013; Waugh, 2000; Sekita, 2020)。台灣的災害防救基本計畫，也以減災、整備、緊急應變與復原重建，作為研擬災害防救基本對策的重點(中央災害防救委員會，2018)。災害事件所造成的影響及因應，經常會涉及許多的政府及民間單位，需要將不同來源的資料，進行整理、分析及展示，才能協助決策者做出的適當地行動。因此，不論在災害管理的那一個階段，資料彙整，都是相當關鍵的工作。

地理資訊系統，在資料蒐集、處理及溝通上的功效，已獲得普遍認同(UN Statistics Division, 2004)。除了 GIS 特有的空間分析等功能外，透過網路地圖服務的建置，分散在各地的使用者，能同步進行資訊分享及協作，增進溝通協調的效率。對災害防救人員而言，GIS 提供即時彙整及展示重要情資的功能，避免在資訊不足的情況下做出決定，對注重時效的救災工作，有很大助益。以下從災害管理的四個階段，分別說明 GIS 可扮演的角色。

一、減災

減災，是指為避免未來發生的災害，所採取的各種措施及行動。當有潛在災害事件，即需要針對各種可能情境，事先研擬因應策略及處置措施，以降低實際災害發生的頻率、規模和衝擊。GIS 在減災階段，主要可協助執行風險評

估，以空間資訊架構及方法，找出災害的「潛在危險」與「脆弱度」(MacFarlane, 2005)。舉例而言，應用 GIS，可以透過對坡度及植物種類的區劃，分析野火對鄰近住家的危脅；或利用土壤和地震震度等資料，評估橋梁受損的風險(Johnson, 2000)。對於洪水災害，可以經由地圖的動態更新，識別不同地區的潛在洪水風險，再透過資訊的公開分享，強化應變管理計畫的有效性(Ellipsis Drive, 2021)。

二、整備

整備，是在實際災害發生前的各項準備工作。GIS 能協助處理救災資源配置、服務可及性、救災及疏散路徑規劃等問題，也能依據受災害影響的人數及區域，評估不同避難場所應準備救災物資的數量。此外，GIS 可作為災害預警的監測系統，利用地圖即時展示氣象站所觀測的風速、風向、溫濕度，以及其他感測站所量測的河川和水庫水位、地震震央等資訊，並透過網路向公眾傳遞及示警(Johnson, 2000)。除了資訊整合與展示，GIS 還能結合相關氣象及水文等模式，利用不同時期的空間資料，進行變遷分析及模擬預測，提供資源配置、疏散撤離和協調整備的建議(Ellipsis Drive, 2021; Ellipsis Drive, 2022)。

三、應變

有效迅速地調度資源進行災害防救，是應變階段的核心工作。GIS 可在救災派遣系統中扮演的角色，包括協助篩選最近或最快可派遣至災害現場的救災人員，並蒐整災害事故的相關情資，讓救災人員抵達後即能馬上投入搶救工作。在土石流、地震等大型複合式災害發生時，GIS 還可利用地圖呈現各地方的災情，以及救災人力、設備及物資的分布情形，協助應變中心掌握整體救災資源的分派(Johnson, 2000)。由民眾所回饋的災害情資，也能透過 GIS 的工具，即時通報給救災人員，爭取救援時效(Ellipsis Drive, 2021)。

四、復原

當災害事件對生命、財產及環境的立即性威脅消失後，就進入災後復原的階段。短期的災後復原，以恢復基礎設施及維生服務為優先，包括食物、飲水、避難處所、醫療照護和緊急電力的供應。GIS 可協助對受損設施做定位，彙整災害損失的類型和數量，以排定復原行動的順序；GIS 還能呈現避難處所的物資需求，以及不同地點復原工作的進展，以進行資源的調配。長期的災後復原，則是要將各種服務回復到正常或更好的狀態，復原時間可能長達數年。GIS 能

協助追蹤復原計畫的執行情形，及重建經費投入的狀況，有助瞭解災害所造成的整體損失（Johnson, 2000）。

實際上，災害管理是一個連續循環的過程，減災、整備、應變和復原工作，彼此間會相互關聯。從 GIS 的角度，災害管理各階段所運用的資料是流通的，可針對救災需求開發特定的功能，四個階段並不會有明顯的區隔；許多 GIS 應用系統，經常可涵蓋不同災害管理階段的需要。綜合而言，GIS 可以協助擬定減災策略、結合模式進行預報、傳遞分享災害情資、以及排定復救順序。從災害事件發生前的潛勢分析、模擬演練，到災害當下的資源部署，都可藉由 GIS 空間資料分析及展示功能，提升決策判斷的品質。此外，GIS 能促進不同機關間災害情資的即時交換，還可作為溝通與協作的平台，對處理分秒必爭的災害事件至為重要。

參、地理資訊系統應用實例

地理資訊系統將空間資料可視化，並對其分布位置和資料屬性，進行分類、推估及詮釋，結合各種基本底圖、災害分析模式及監測數據，可有效在不同面向協助災害的管理及決策。以下以國家災害防救科技中心(簡稱災防科技中心)所開發的系統為例，說明地理資訊系統如何協助災害防救相關工作的執行。

一、災害潛勢分析

災害潛勢地圖，是利用歷史災害資料或災害情境模擬，搭配相關自然環境及社會經濟資料所繪製，可作為防災規劃或物資配置的重要參考。在災防科技中心的災害潛勢地圖網站服務中，運用 GIS 的圖層套疊與環域分析等功能，讓使用者可以透過地圖瀏覽的方式，選擇感興趣的區域，查詢鄰近範圍的災害潛勢，包括不同雨量情境下的淹水潛勢、土石流潛勢溪流、大規模崩塌潛勢區、斷層鄰近區、土壤液化潛勢、海嘯溢淹潛勢、海岸災害潛勢區，以及火山災害潛勢區等；也可針對特定地點，產生災害潛勢報表，協助進行災害風險評估(如圖 1)。此外，還可套疊如物資存量配置、收容所位置等圖層，利用 GIS 進行最佳化分析。

災害潛勢地圖的運用，對企業與民眾而言，主要能針對所擁有之建築所在地或居住地，進行災害風險的評估，例如了解建築物是否位於淹水潛勢地區，過去是否曾發生淹水災情，對地下室入口是否需要加強防水閘門的準備；若建築物位在山坡地附近，也可透過災害潛勢地圖，查詢鄰近是否有土石流潛勢溪流，是否位在順向坡或者是活動斷層附近。而對各級地方政府，則可針對所管

轄之行政範圍，查詢盤點哪些區域是災害高潛勢地區，作為擬定災害作業計劃，部署與整備救災資源的重要參考依據。



圖 1、災防科技中心災害潛勢地圖網站

二、災害衝擊模擬

對於災害管理的整備階段，災防科技中心依據災害處理標準流程，開發「災害模擬兵棋台」，輔助防災人員進行平時演練，以便於災時能快速反應(張子瑩，2020)。目前災害模擬兵棋台已可提供複合性的災害情形，防災人員可混合設定歷史颱風、淹水、坡地、地震、輻射等災害之評估，在設定災害情境及位置後，透過 GIS 的地形、環域分析及路徑規劃等技術，自動計算出災害可能的影響範圍、影響人口、保全對象人數等資訊，並可透過標示出鄰近的避難處所，查尋可收容人數，盤點鄰近的救災資源，進行路徑的規劃，以模擬災害發生時，人員疏散及救災資源調度的演練運用(如圖 2)。

災害衝擊的模擬，對於中央部會的業務主管機關在使用上，主要可對所轄管的災害，進行模擬分析，以原子能委員會為例，能利用核電廠的輻射擴散模型，進行不同時段的擴散環域分析，計算可能影響的人口與規畫疏散路徑。對於地方政府，在地震災害情境演練時，可任選中央地質調查所公告的 36 條活動斷層，進行地震災害的衝擊分析，評估可能影響的人口數量，可能受損的建築物、橋梁、道路等，並請轄下的單位，進行處置作為的預判。



圖 2、災防科技中心淹水災害模擬兵棋台

三、災害情資整合

災害應變期間，綜整各種來源的資料，及時正確地展示給防災人員做為決策參考，是災防科技中心建置「災害情資網」的核心目標。透過災害情資網，在颱風來臨前，即整合氣象局及其他國家的颱風預報資訊，將颱風風速、路徑，和降水預測等資料結合，以時間軸的概念，在地圖框選出路徑變化下的預警區域。同時，災害情資網也彙整各機關超過 620 項類巨量災害監測資訊，包括雨量站、水位站、現地攝影機等，透過多視窗的方式，將預警區域的即時觀測資訊在系統中同步呈現（如圖 3）。

除了與氣象模式相關的預報資料，災害情資網還結合水象及土象災害的模式，提供淹水、土石流及坡地災害的預警資訊，並利用 GIS 主題圖的設計，方便使用者對不同資訊的切換。颱風期間常用的主題圖，包含降雨、淹水、暴潮等預警主題圖，透過動態的圖層，可查詢高風險的預警區域及影響時間等，有利於災害人員提前進行救災資源的部署，及跨單位間的溝通與協調。綜合而言，防災人員在平時可以透過相關情資，掌握不同災害風險區域之弱勢人口並進行救災資源配置規劃；災時則透過即時數據分析，提供災害區域內需關注標的，並輔助後續救災決策。藉由「災害情資網」建立「共同防災圖像」，可提升防救災指揮決策效能，強化防災韌性。



圖 3、災防科技中心災害情資網

四、災害情資決策

重大災害發生時，受限於時間及設備，詳細地災害現地資訊常無法即時傳遞，造成救災協調的困難。災防科技中心與消防署合作，運用網路服務、地理資訊等技術，開發「災害情資網」，提供第一線災害應變人員，在災害現場的指揮所，運用簡易製圖工具，快速分享災情資訊，也讓後端在應變中心的支援單位及指揮官掌握現地情形，透過科技應用促進資訊共享，有助於救災資源的調度與分派（黃俊宏、蘇文瑞、楊鈞宏與張子瑩，2021）。

災害情資決策圖台的救災資源部署圖繪製功能，包括繪圖及儀表板兩大模組。繪圖模組，可以讓災害現場的應變人員，利用行動裝置，繪製災情現況及救災資源分布情形，還具備協作機制，允許多位使用者對同一幅部署圖進行繪圖作業，以達到共同繪製、即時部署的功效。而儀表板模組，則可彙整各災害應變單位部署圖成果，以圖卡式介面呈現部署圖之相關統計資訊，供指揮官掌握整體救災部署的狀況（如圖 4）。



圖 4、災防科技中心災害情資決策救災部署模組

五、災害情資決策

災害損失評估，是透過歷史災後損失調查資料的整理，結合氣象、地理和社會經濟等數據，建置災損推估模型，評估不同災害類型及規模下，可能產生的經濟損失。災防科技中心研發的災害損失評估模式，同樣是以 GIS 做為資料整合、查詢及展示的平台。以颱風洪水的災損評估為例，分析模組包括家戶、停水和農業災損等（如圖 5）。農業保險業者，也可透過歷史農業災損事件，協助進行保費的估算。使用者可以任意挑選全台的農作物專區，快速查詢歷史上災害事件所造成的損失程度與分布情況，也能依據氣象預報，推估未來遭受經濟損失的危險程度，增進農業防減災之能力（鄧傳忠、陳怡臻、陳素櫻、黃桂卿、李欣輯與李香潔，2017）。



圖 5、災防科技中心災害損失模型

配合網路頻寬提升及展示技術進步，災防科技中心的地理資訊系統及圖台，皆有大幅的優化和升級，包含(1)三維圖資展示、(2)即時動態數據分析、(3)跨平台服務，目的都是希望能降低使用者的學習門檻，提供更直覺、多視角的操作體驗。

綜合以上，災防科技中心所開發的各項地理資訊系統，除可提供中央及地方政府相關單位，運用在災害管理的各階段外，還能配合企業自主防災的推動，協助企業對於災害風險及災害監控進行準備。例如企業可以從潛勢地圖網站，盤點特定位置的環境風險，進行減災資源的分派及演練工作；可運用災害情資網，瞭解降雨和淹水情形，以及道路通阻等災情，及時進行因應。

肆、新興資通訊科技的導入

隨著資通訊科技的快速發展，物聯網和行動裝置已成為蒐集資料的重要途徑，不僅擴大了調查分析的範疇，也可得到更即時準確的數據，對災害應變決策，有非常大的幫助。下列以災防科技中心，近期利用新興科技所開發的決策支援系統為例，介紹災防地理資訊系統的最新應用。

一、社群資料攀爬

在災害應變期間，災情掌握是相當重要的一環。民眾利用社群媒體主要發布的災害訊息，傳播力經常超過正式的災情通報管道。透過程式工具，自動攀爬網路社群媒體上的即時災情資料，將可輔助救災人員評估災害的規模。社群資料的特性，為多形式的資料格式，包括文字、照片、影片等，且因易於轉傳，資料的原始來源及發布時間，經常無法直接被判定，需要做進一步的查證。儘管社群資料內容的精確程度，遠不足官方的通報資料，而且可能在大規模災害時，因網路或通訊中斷，而出現無資訊，或相同事件被大量重複轉傳等情況，影響災情蒐集的可靠度；但社群資料能直覺傳達現地的狀況與民眾對災害的觀感，仍是具互補性的重要災害情資。

在社群資料與 GIS 的結合上，因社群資料的多元格式，為降低資料處理時間，因此在社群資料應用上，建立了一套操作流程，包括有攀爬、過濾、定位、製圖等四個步驟，利用程式主動蒐集發布在各主要社群平台的災情資料，經過內容擷取、交互比對等程序，將民眾所提供的即時資訊標示於地圖上，讓應變決策人員可以更快掌握最新災情。以地震事件為例，由於受影響的區域廣闊，災救人員往往無法及時抵達各地的災點，而民眾利用手機拍攝並上傳到社群媒體的照片或影片，即可提供第一手的災害狀況，有效協助救災應變及災後復原的相關決策（如圖 6）。為提升資訊正確性，對於社群資料的過濾與定位程序，還會搭配降雨分布圖、地震震度圖等相關資訊，交互比對，以減少使用到錯誤資料的風險。



圖 6、0918 池上地震災情社群資料蒐集

二、人流動態追蹤

手機是現代社會人手一機的行動通訊裝置，透過手機定位軌跡資料，分析人群的移動模式與時空分布，是近期熱門的研究議題。手機中的 GPS 資料，有相當精確的地理座標，但有涉及隱私的疑慮，一般較少大規模的使用。而由手機和基地台所產製的手機信令資料，經過去識別化後，可推估出特定區域內手機數量的變化，進而掌握人口流動的動態。手機信令資料具備即時與高覆蓋率等特性，可作為都市規劃、交通運輸、人流預警、防疫、防災等面向之應用（臺北大數據中心，2021）。

災防科技中心也導入人流監測技術，運用電信公司提供的行動人口數據，以 500 *500 公尺網格為單元，分析各時段人流動態（如圖 7）。已於防疫期間，針對熱門景點的人潮進行監控，提供預警資訊給相關單位，採取必要的管制措施；也嘗試應用於山區道路中斷的情況下，評估需進行疏散撤離的人數，作為後續調度安排的參考。

手機信令資料，可協助即時掌握人口分布動態，但受限於台灣地勢起伏較大，在推算電波涵蓋範圍下的人流數量時，須與長時間的背景值搭配比對，才能有較好的結果。此外，目前僅有蒐整中華電信的網格式數據，且並非全島面積都有基地台覆蓋，因此對山區人數估算的準確性，仍有待提升。

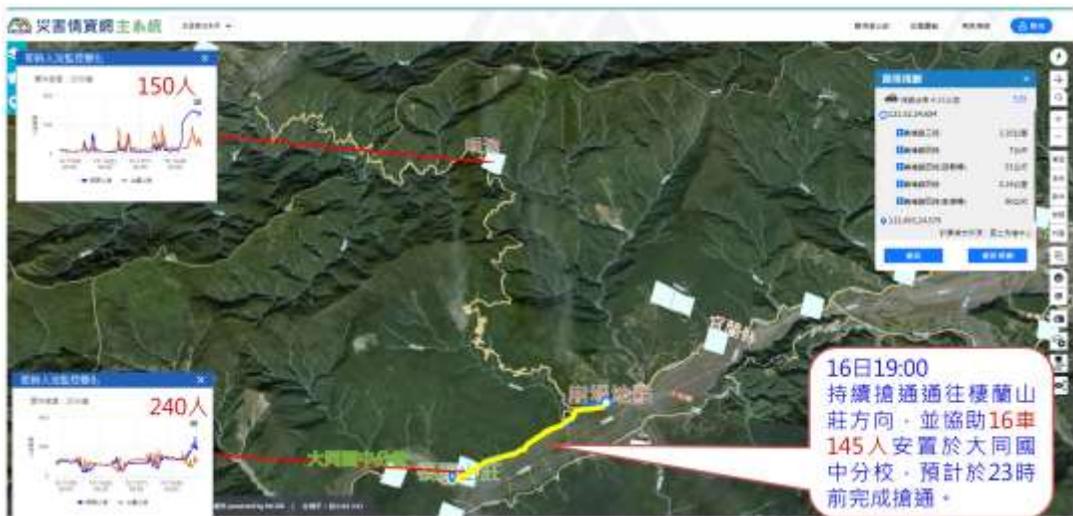


圖 7、透過即時人流監控進行疏散撤離之評估

三、航拍影像建模

利用遙測技術，進行環境變遷分析，是災害衝擊評估的有效工具。傳統上，可以採用飛機及衛星等載具，搭配相機、多光譜儀、光達（LiDAR）等感測器，對地表的地形地貌進行偵測（Shillenn, 2017）。隨著無人機的普及，應用旋翼或固定翼的無人機，對山坡地、河谷、建物、橋梁等進行影像拍攝的技術及成本門檻大幅降低，可成為例常性的工作項目，或配合救災和緊急任務需要，即時進行航拍作業。

不論是衛星影像、無人機影像，尤其是光達影像，資料量都相當龐大，在數據的處理上，需有較高的計算資源，在資料轉換後，搭配商用軟體，製為三維模型，可以與 GIS 三維圖台結合，透過多視角的方式，評估災害規模，並可藉由多時期資料的比對分析，推估土石崩塌量及變化潛勢，研擬後續災害防治策略（如圖 8）。

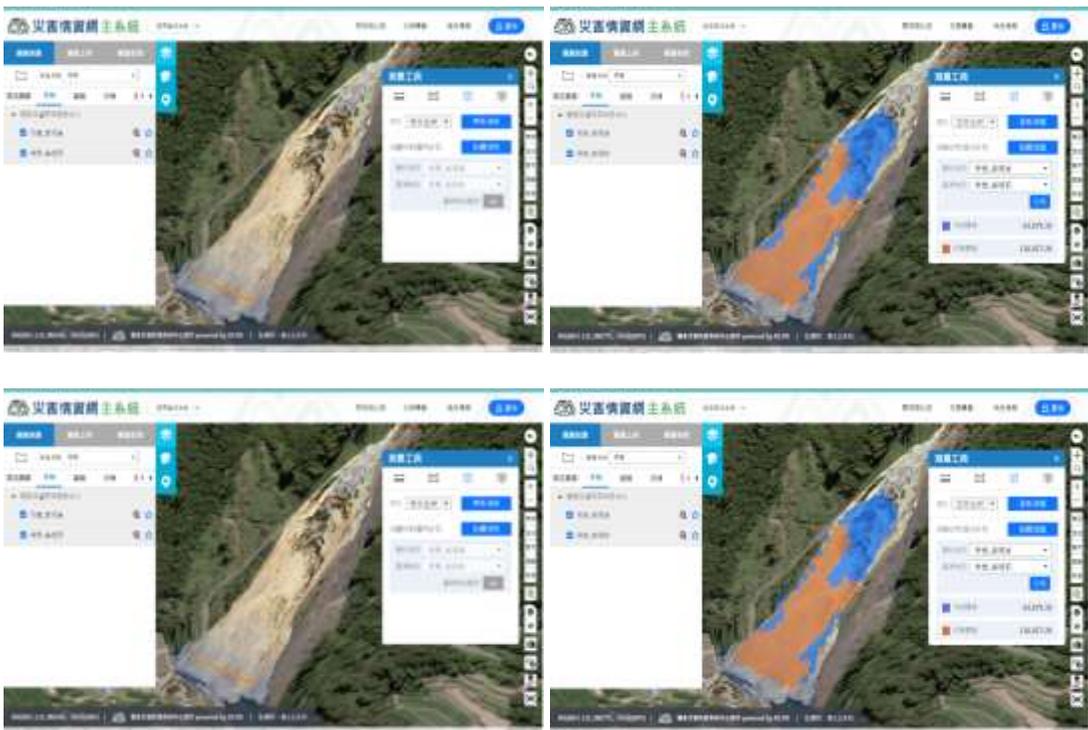


圖 8、秀巒崩塌裸露區前後期影像分析

四、物聯網環境監測

物聯網 (IoT) 是將計算、感測、控制等設備，透過網際網路與其他裝置互連及交換資料。由於無線通訊及晶片製造等技術的進步，物聯網裝置佈建成本大幅降低，可透過各種不同類型的感測器，對環境進行即時監測。而所蒐集到的巨量數據，可應用於決策支援系統的開發，協助精進管理與決策的品質。在台灣由跨部會合作執行的「建構民生公共物聯網計畫」，在全台佈建約 1 萬個空氣品質微型感測器，每 3 分鐘更新一次數據，以及對河川、埤塘、區域排水和地下水的水位、雨量及淹水等水資源領域，也提供每 10 分鐘的監測資料，達成即時追蹤掌握環境變化的功能。

透過廣泛布建的各類型感測裝置，搭配穩定可靠的網路傳輸，物聯網已可持續提供巨量的即時資料 (如圖 9)。將資料整合進以 GIS 圖台為基礎的災害情資網，可使防災人員快速獲得週期更短、空間精度更高的分析資料。但大量的資料，經常會超過傳統分析及展示方法的限制，需仰賴如機器學習或分析等告警功能，強化自動判釋和預警輔助，才能有效輔助災害應變時的決策情資。



圖 9、災害情資網空氣品質監測資訊

伍、未來展望

地理資訊系統具備資料整合、分析及展示的特點，透過網路圖台的即時分享，還可達成跨單位間的資料交換與相互協作。GIS 已普遍應用在災害管理的減災、整備、應變、復原等階段，能將風險資訊及與災害資料庫進行鏈結，讓使用者在緊急災害事件發生時，快速結合相關資料及功能模組，確實協助提升各項作業的決策品質。

隨著資通訊科技的進步，GIS 的應用也有顯著升級，從傳統以靜態調查資料為主的分析，擴展到感測物聯網資料的即時運算。藉由巨量資料處理能力的強化，對於災害情資蒐集，不再僅是被動地倚賴經過查核的通報資料，而可以主動從網路社群媒體中，攀爬過濾出可靠且重要的即時災情，增進應變效率。利用手機訊號所建立的人流動態資料，能提供受災害影響人群的真实分布狀況，有助於救災資源的分派，也可瞭解民眾在災害衝擊下的行為反應，作為未來防減災規劃的參考。透過三維影像模型製作細緻化的地形地貌資料，介接雨量站、水位站、傾斜儀等物聯網裝置的即時監測數據，可以更精準地評估未來山崩及淹水的風險。例如災防科技中心已整合三維圖台、感測網及預報資料，進行災防決策應用，針對山區聚落，模擬未來 24 小時的天氣及水位，評估部落內的建物或居民，受到山洪暴發影響的情況（如圖 10）；同時，透過在地感測數據的持續回傳，即時修正可能的影響範圍，並以更直觀的視覺介面，支援疏散撤離之災害決策。災防科技中心所建置的山區洪水模擬系統，具備監控、分析和預測能力，契合智慧國土數位孿生的推動方向（彭紹博，2022）。



圖 10、數位孿生應用於山區洪水模擬

GIS 能結合行動通訊、物聯網、大數據等新興科技，成為全方位的資料整合平台，並可透過資料主動蒐整、動態更新、即時分析和自動示警等功能的強化，建構智慧化的空間資訊決策輔助系統，在災害應變工作中扮演不可或缺的角色。災害管理著眼於緊急災害事件的發掘、確認，及對於周圍環境衝擊影響的整備。如何善用 GIS 主動找出潛在的災害因子，及可能發生的二次災害，搭配如人工智慧之方法進行災害的預測，以期提早發現可能導致破壞性或複合性災害的問題，並利用歷史災害事件資料的積累，研發災害管理學習模式，提供應變決策及資源分派建議。此外，GIS 結合數據的管理與分析展現，讓使用者不論是在災害時的自保，亦或是互助，皆能有客觀的數據作支持。由於不同使用者在解讀數據時，可能會產生不同的決策作為，因此持續對使用者進行災防知識與系統的教育訓練，以及更進一步建立災害管理各階段決策知識庫，都是未來努力方向，得以達到精準防災之目標。

致謝

感謝國科會「時空資訊雲落實智慧國土 107-109 年度計畫 (3/3)」(MOST 109-2119-M-865-005)，提供經費支持災防科技中心建置「災害情資服務平台」，輔助防災人員即時掌握災害情資，進行各種應變作為。

參考文獻

- Ellipsis Drive (2021) *The Use of GIS Technology in the 4 Phases of Disaster Management*, Retrieved October 20, 2022 from <https://ellipsis-drive.com/blog/the-impact-of-gis-technology-on-disaster-response/>.
- Ellipsis Drive (2022) *Role of GIS in Disaster Management*, Retrieved October 20, 2022 from <https://ellipsis-drive.com/blog/how-gis-technology-aids-in-emergency-management/>.
- FEMA (2013) *Emergency Management in the United States*, Retrieved October 20, 2022 from https://training.fema.gov/emiweb/downloads/is111_unit%204.pdf.
- Johnson, R. (2000) *GIS Technology for Disasters and Emergency Management*, USA: Environmental Systems Research Institute.
- MacFarlane, R. (2005) *A Guide to GIS Applications in Integrated Emergency*

- Management*, UK: Emergency Planning College, Cabinet Office.
- Sekita, B. (2020) *How GIS is Used in All Phases of Emergency Management*. Retrieved October 20, 2022 from <https://www.gislounge.com/how-gis-is-used-in-all-phases-of-emergency-management/>.
- Shillenn, M. (2017) *How LiDAR is being used to help with natural disaster mapping and management*, Retrieved October 20, 2022 from <https://www.gislounge.com/lidar-used-help-natural-disaster-mapping-management/>.
- UN Statistics Division (2004) *Integration of GPS, Digital Imagery and GIS with Census Mapping*, New York: United Nations Secretariat.
- Waugh, W. (2000) *Living with Hazards, Dealing with Disasters: An Introduction to Emergency Management*, N.Y.: Routledge.
- 中央災害防救委員會 (2018) *災害防救基本計畫*, 臺北市：行政院。
- 張子瑩、蘇文瑞、黃俊宏、楊鈞宏 (2020) 時空資訊雲落實智慧國土(2016-2020年)計畫成果, *災害防救電子報*, 第 184 期。
- 彭紹博 (2022) 推動智慧國土數位孿生之展望, *T&D 飛訊*, 第 289 期。
- 黃俊宏、蘇文瑞、楊鈞宏、張子瑩 (2021) 災害情資決策圖台：救災資源佈署圖應用說明, *災害防救電子報*, 第 195 期。
- 臺北大數據中心 (2021) *手機信令推估人口的應用探討*, 2022 年 10 月 20 日取自於 <https://tuic.gov.taipei/zh/works/mobile>。
- 鄧傳忠、陳怡臻、陳素櫻、黃桂卿、李欣輯、李香潔 (2017) *臺灣災害損失模型研發與系統建置*, 新北市：國家災害防救科技中心。