

淺談3D GIS 於永續能源發展的應用

文·圖／韓仁毓、陳宜謙

相較於傳統的2D GIS，3D GIS增加了高度這一維度，使得地理空間數據的表達更加真實和豐富。高度資料的取得方式多樣，資料精度、更新頻率和可獲取性也有所不同。傳統的資料獲取是以實地測量的方式，耗時費力，但隨著技術進步，無人機（Unmanned Aerial Vehicle，UAV）和空載光達系統（Light Detection And Ranging，LiDAR）逐漸取代傳統的人力測量，提高了工作效率並減少了人為誤差。內政部國土測繪中心自108年起開始建置全國三維建物模型，利用1/1000地形圖、臺灣通用電子地圖（Taiwan e-Map）及數值高程地形模型（Digital Terrain Model，DTM）資料，獲取2D建物框並萃取樓高，從而建立詳細的三維建物模型。高精度的三維建物模型作為發展數位雙生的基礎地圖，需要結合真實世界的人類活動中產生的龐大資料進行分析，應用到實際問題的決策和優化。本文將介紹研究團隊如何利用3D GIS中的建物特徵，逐步提升光電潛力評估的精細度，推動永續發展目標（圖1）。

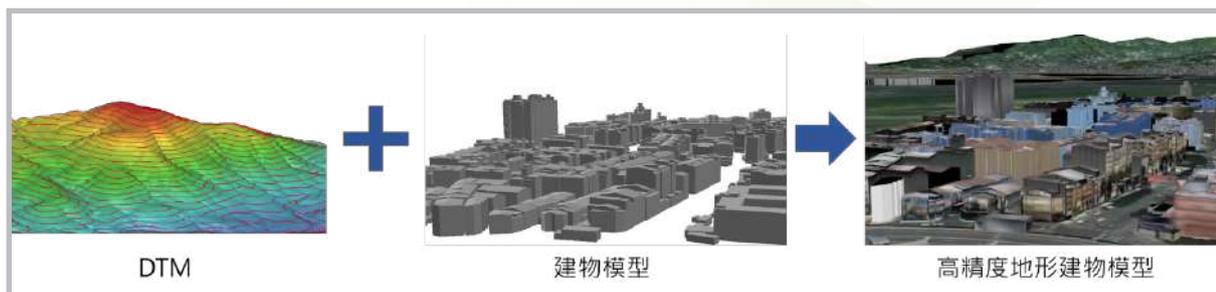


圖 1：整合三維地形與建物模型的三維環境模型

2050淨零碳排及再生能源發展

工業革命以來，人類活動導致溫室氣體排放顯著增加，引起全球暖化及氣候變遷並給世界帶來不可逆轉的嚴重影響。南極冰蓋的融化加速了海平面的上升，並對沿海地區造成了嚴重的侵蝕；頻繁發生的熱浪和乾旱等極端天氣事件也對農業和水資源管理帶來了挑戰。為了緩解這些影響，聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）提出了將全球溫度上升控制在1.5攝氏度內的倡議，並設立在2050

年實現淨零碳排的目標，呼籲全球各國減少溫室氣體排放。臺灣溫室氣體排放主要來自能源及工業部門。面對2050淨零碳排的挑戰，能源部門降低碳排放量的方式包含提高再生能源占比、調整能源結構、提升能源使用效率、改變能源使用習慣等等。

推動再生能源取代火力發電是最有效且必要的減碳手段。相較於其他再生能源，太陽光電較不受地理環境因素限制，且隨著技術進步，轉換效率提升、成本降低，是目前臺灣再生能源發電比例之首。當光子（太陽光中的粒子）打到半導體材料上時，會釋放出電子，形成電流。利用這一特性，太陽光電系統透過半導體材料（如矽）製成的太陽能電池（solar cells）將太陽光直接轉換為電能。根據架設場地的不同，太陽光電系統主要分成屋頂型和地面型兩種形式。地面型太陽能系統通常架設在有廣大腹地的郊區，近期興起的漁電共生、光電球場等土地多元複合利用的創新模式，在通過評估潛在影響後，也不失為加速推動能源轉型的一種方式。地面型系統在解決土地衝突及初期設施成本後，受惠於充足的架設面積，能夠產生大量電力，確保偏遠地區的能源自主性，不過，電力從郊區輸送到都會區會有所折損且面臨災害導致的設施損壞風險，存在能源安全及不穩定性的隱憂。相比之下，屋頂型光電系統因為靠近都會用電需求區域，有較高的電網效率及可靠性，還可以提供都會區降溫效果、利用都市閒置空間。然而都會區建物密集且高低錯落，建物型態的排列組合隨著時間變化會對屋頂有不同程度的陰影遮蔽，影響光電系統的發電效益，因此在架設屋頂型光電系統前通常需要評估在地的光電潛力，避免安裝在光照不足的區域。

3D GIS 技術應用於光電潛力評估

由於建物之間的遮擋及太陽高度角的變化，屋頂不同位置實際接收到的太陽輻射值會有所不同。目前大多數太陽輻射模擬是透過在GIS軟體中匯入建物高度資料，計算屋頂的坡度和坡向，根據輸入的時間及地理位置計算出一年中不同季節及時刻太陽的方位及高度，從而得到納入建物遮蔽的太陽輻射值。利用三維建物模型，計算可用的屋頂面積，考慮到遮擋和結構限制，並排除屋頂邊緣部分，確定實際可安裝太陽能板的面積。本團隊針對台北市區域研究顯示，低於三層的低矮建物受到更多的陰影遮蔽影響，會導致光電轉換效能降低10%，而高建物則只會下降1%。另外，建築物屋頂的方向和傾斜角會影響太陽能板接收到的輻射量，利用3D GIS技術模擬出最佳的方向和傾斜角可提高太

陽能發電效率2%-16% (圖2)。

遙測影像太陽輻射估算

現有技術在模擬的準確性上仍有不足，導致實際發電量低於預期，可能的原因是前述方法僅考慮了太陽的位置，而太陽輻射到地表的過程中被大氣環境吸收、散射及反射，輻射值會有所減少。大氣的衰減作用會隨著溫室氣體含量及雲層的變化而變化，常用的方法是獲取長時間（10至30年）地表測站的氣象數據，整合成最具代表性的標準年數據（Typical Meteorological Year, TMY），反映該地區長期平均氣象條件，以避免單一年份的極端氣候條件而造成的偏差。然而測站的輻射資料通常是大範圍區域的平均水平，難以表示在地化的輻射值，因此，研究團隊將3D GIS技術結合遙測影像進行

地表太陽輻射之面狀觀測以及建模，以提高光電潛力模擬的準確性。大氣中的雲覆會阻擋並散射太陽輻射，而氣溶膠（aerosol）會吸收和散射太陽輻射，導致同一地點的太陽輻射分佈發生變動。衛星遙測技術能夠識別雲覆、測量氣溶膠的光學厚度，將雲和氣溶膠對地表輻射值的影響扣除，計算出無雲模型（clear sky model）和地表反照率（albedo）實現更精確的模擬。無雲模型可以模擬在沒有雲層干擾的情況下，地表實際接收到的大氣輻射值，而地表反照率則

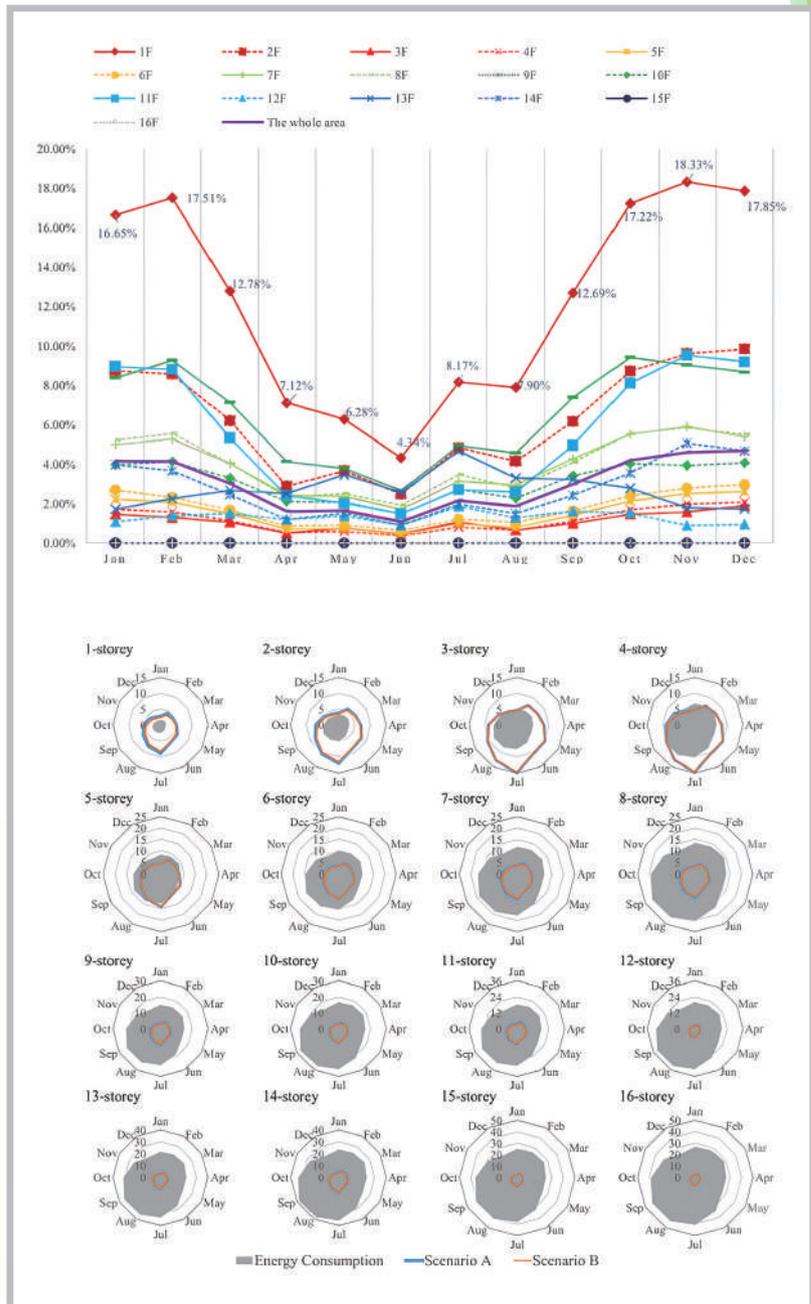


圖 2：建物樓層逐月陰影遮蔽影響

反映地表對太陽輻射的反射能力。研究團隊使用向日葵衛星（Himawari-8/9）的第三波段解析出每十分鐘的太陽輻射資料，透過這些數據，太陽光電系統的潛力評估將更加準確，有助於制定更效的再生能源使用策略參考，進而促進永續發展目標之實現。

當然，上述評估是從發電的角度評估光電潛力，能源部門的淨零碳排除了提高再生能源占比，在用電層面提升能源使用效率也至關重要，執行上需要推動智慧電網（Smart Grid）。智慧電網記錄不同時間區間的用電資訊，這些歷史用電資訊有助於評估建物的日常用電量和高峰用電量、分析日夜和季節性的用電模式等等，歸納出能源需求的時間分佈後，結合前文提到的光電潛力推估，設計相應的儲能系統，增強系統的穩定性和可靠性。智慧電網中的自動化技術還可以快速響應電力需求變化，減少電力損耗並提高整體運營效率（圖3）。

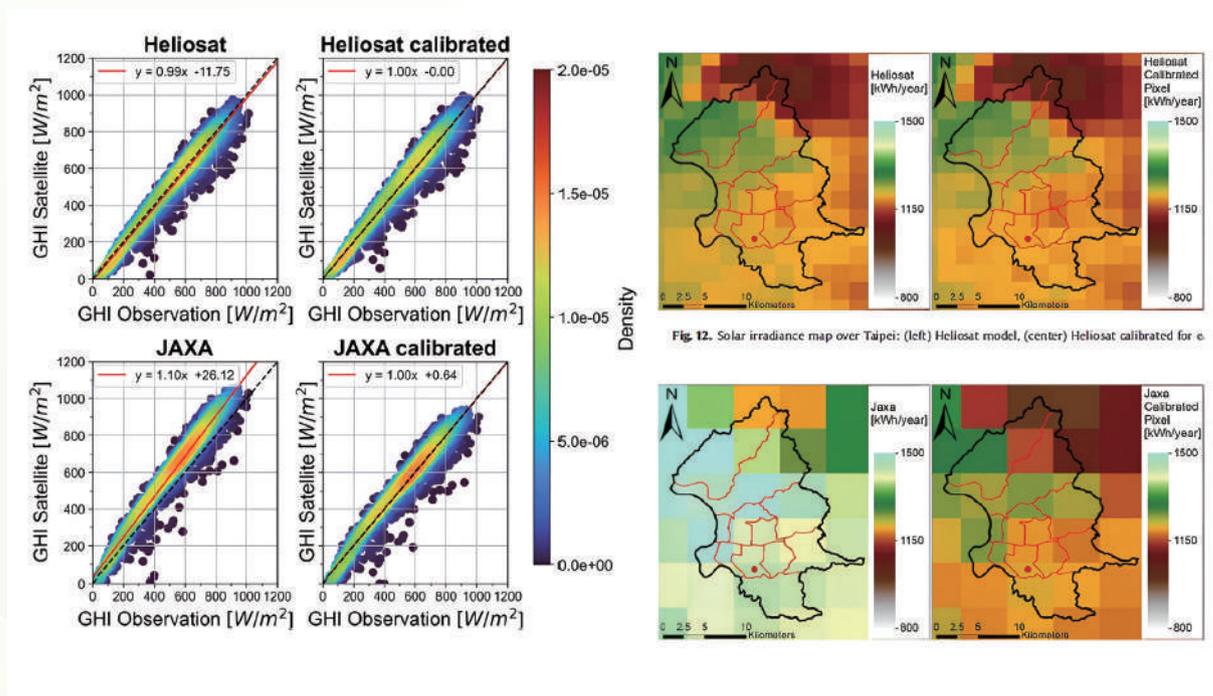


圖 3：遙測影像建構太陽輻射模型

光電潛力的模擬有助於決定光電系統的安裝位置和裝置容量，以最大化能源效率、降低能源成本，從而提高再生能源的可取得性和可負擔性，符合聯合國永續發展目標的第七項目標（SDG 7）。透過3D GIS技術可以更精確的理解和利用城市空間、促進屋頂

型太陽光電系統的應用、優化能源使用、營造SDG 11所提出的健康永續的城市環境，有效應對全球氣候變遷帶來的挑戰。（本期專題策畫／工學院江茂雄院長&生農學院王淑珍副院長）

參考文獻：

- [1] J.-Y. Han, Y.-C. Chen, and S.-Y. Li, ‘Utilising high-fidelity 3D building model for analysing the rooftop solar photovoltaic potential in urban areas’ , *Solar Energy*, vol. 235, pp. 187–199, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.solener.2022.02.041.
- [2] J.-Y. Han and S.-Y. Li, ‘Impact of temperature and solar irradiance in shadow covering scenarios via two-way sensitivity analysis for rooftop solar photovoltaics’ , *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 46, no. 1, pp. 3165–3176, Dec. 2024, doi: 10.1080/15567036.2024.2316244.
- [3] J.-Y. Han and P. Vohnicky, ‘An optimized approach for mapping solar irradiance in a mid-low latitude region based on a site-adaptation technique using Himawari-8 satellite imageries’ , *Renewable Energy*, vol. 187, pp. 603–617, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.01.027.
- [4] J.-Y. Han and P. Vohnicky, ‘Estimation of global and diffuse horizontal irradiance by machine learning techniques based on variables from the Heliosat model’ , *Journal of Cleaner Production*, vol. 371, p. 133696, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133696.
- [5] S.-Y. Li and J.-Y. Han, ‘The impact of shadow covering on the rooftop solar photovoltaic system for evaluating self-sufficiency rate in the concept of nearly zero energy building’ , *Sustainable Cities and Society*, vol. 80, p. 103821, May 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103821.



韓仁毓 小檔案

臺灣大學土木工程學系學士、土木工程學系碩士，美國普渡大學土木工程學院博士。現任國立臺灣大學土木工程學系教授、國科會自然處空間資訊科技學門召集人。研究興趣為應用衛星大地測量、高精度變形監測、動態坐標系統、整合式空間資訊處理與分析。