

利用地理資訊系統 推動流域環境保護和永續發展

文·圖／林冠州（博士後研究員）、江莉琦

地理資訊系統（Geographic Information System，簡稱GIS）是一門綜合學科，結合了資訊處理和空間分析技術，在多個領域發揮著重要作用。尤其在環境影響評估和環境工程中，GIS幫助專家們了解空間變化，辨識關鍵熱區和脆弱地區。透過GIS獨特的空間分析功能，我們能更準確地評估區域資源的變化和環境改善策略的成效。全球水資源和非點源污染評估經常使用SWAT（Soil and Water Assessment Tool）和InVEST（Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs）這兩種模式，結合GIS，這些模式能將空間數據和現象連結起來，展示脆弱區和重點區域的結果。接下來，我們將深入介紹SWAT和InVEST模式，並探討它們與GIS功能結合後，在環境影響評估和改善策略中的應用實例。這些模式如何幫助我們更好地理解與應對非點源污染，同時促進環境的永續發展。

SWAT模式：應對環境挑戰及衝擊評估的利器

氣候變遷和土地開發所帶來的環境變化和破壞正逐漸成為全球關注的焦點。這些變化不僅增加了污染物的排放量，還對水資源供應造成嚴重威脅。為減少這些風險並實現環境永續發展，利用先進工具模擬和評估區域內的污染熱點和來源變得尤為重要。SWAT模式（Soil and Water Assessment Tool）是一種在全球廣泛應用的綜合性流域/集水區評估工具。它能夠模擬水流移動、水污染傳輸及作物生長變化，並結合GIS的空間分析功能，精確模擬不同土地利用和土壤特性。通過GIS的向量或網格圖層，SWAT模式建立了詳盡的特性資料庫，使流域劃分和支流河道特徵的量化成為可能。

SWAT與GIS的結合：提高環境評估的精確性

由於SWAT模式完全依賴GIS軟體進行操作，它能夠模擬各子集水區的水資源和非點源污染排放，精確指出各個河段的污染輸出量和土地利用的影響。例如，在研究臺灣坪林集水區硝酸鹽氮輸出量時，SWAT模式結合GIS空間分析，顯示出茶園密集區域的硝酸鹽氮輸出量較高（圖1）。另一項研究則利用崩塌地面積與流域內泥砂輸出量進行比對，揭示了崩場地對區域泥砂輸出的影響（圖2）。這些案例充分展示了GIS空間分析技術與SWAT模式的強大組合。這些工具不僅能夠有效評估人類活動對自然環境的影響，還能夠為決策單位

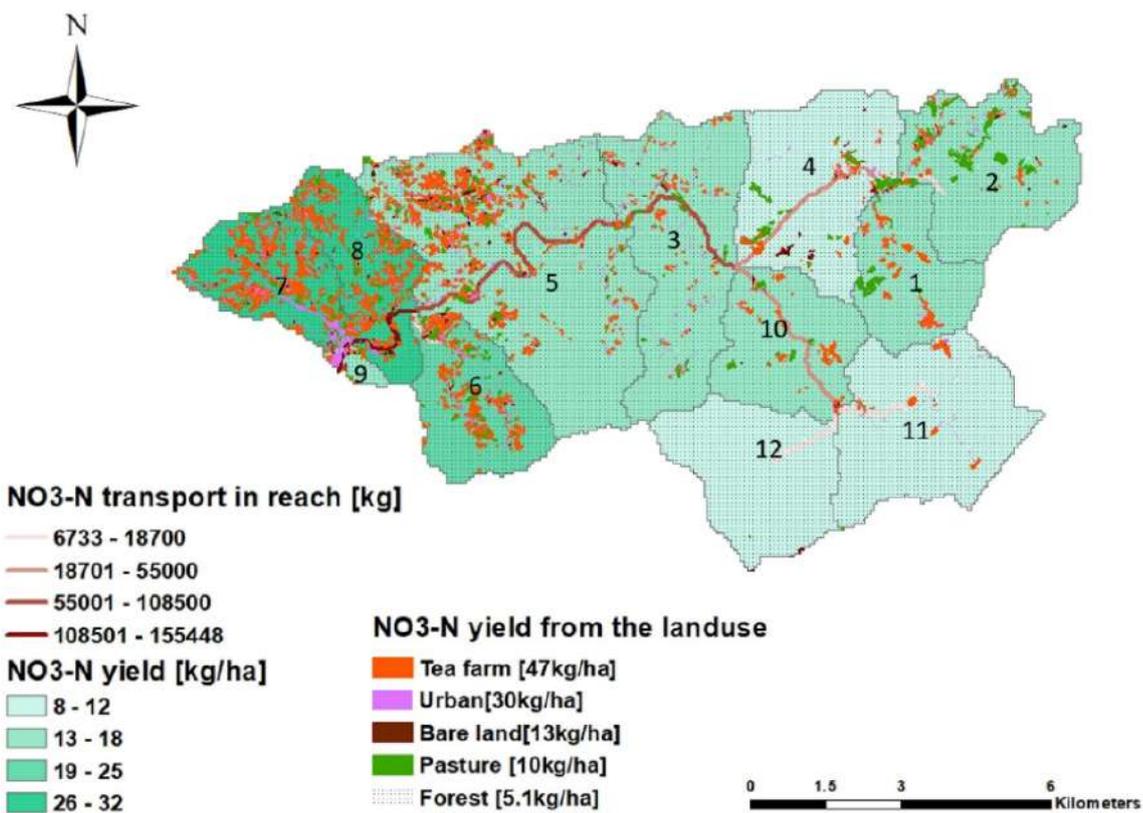


圖1：SWAT應用於坪林集水區非點源污染空間輸出之研究。（引用自：Lin et al., 2022）

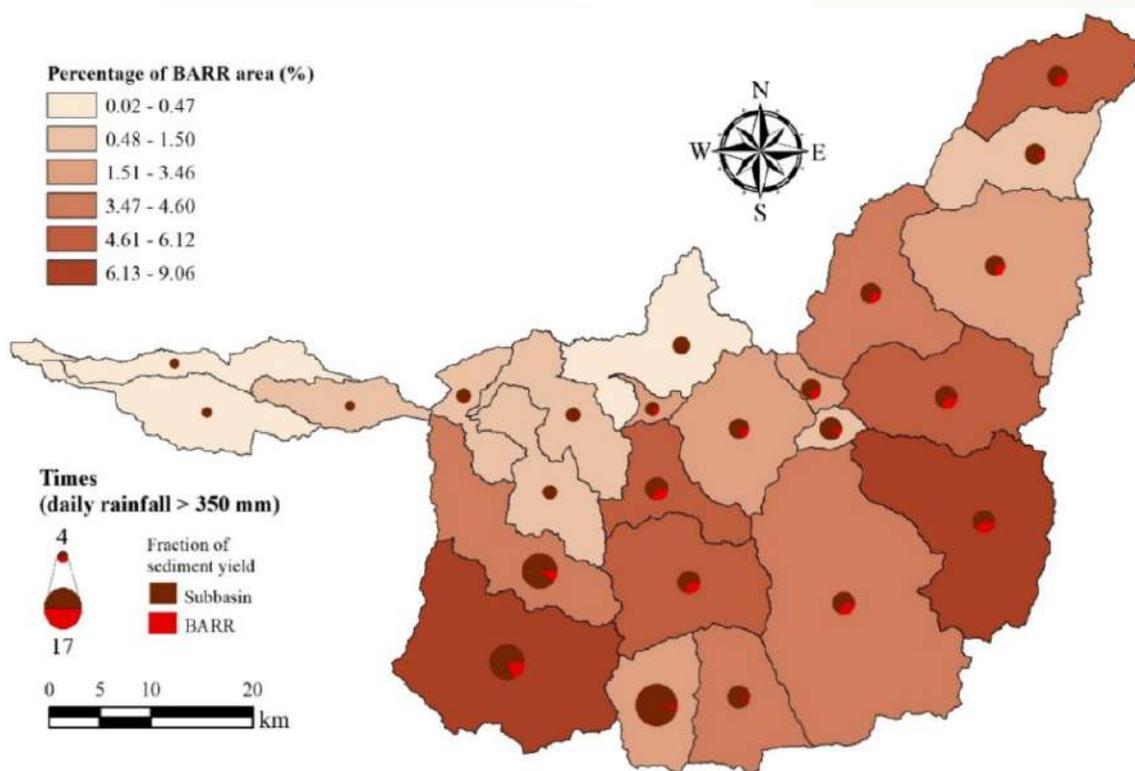


圖2：SWAT應用於濁水溪流域泥砂與崩塌分布之關聯性研究。（引用自：Chiang et al., 2021）

和當地居民提供重要的參考依據。由於SWAT模式的輸出具有高度的空間性，它已成為全球範圍內成功結合物理-經驗型模式與GIS空間分析的案例之一，為應對未來環境挑戰提供了堅實的基礎。

InVEST模式：基於GIS的生態系服務評估工具

InVEST模式（Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs）由美國史丹佛大學、明尼蘇達大學、大自然保護協會和世界自然基金會於2007年聯合開發，旨在計算並量化研究區域的生態系服務及其價值。該模式基於GIS平台構建，設計了針對陸地、淡水、海洋及沿海生態系統的不同生態系服務模型。通過GIS平台，InVEST模式能夠定位、處理輸入數據，並將評估結果進行視覺化展示，不僅生成生態系服務數據，還能進行詳細的空間分析。

InVEST模式的應用實例

InVEST模式具備高度的參數設定彈性，結合空間資訊分析和結果輸出的優勢，已廣泛應用於各種生態系服務效益評估中。例如，近年來碳匯議題備受關注，流域內碳儲存量 and 排放量的重要性日益凸顯，而InVEST模式可以用於模擬各流域的碳儲存量和排放量。國外研究利用InVEST模式分析中國京津冀地區在兩個不同開發時期的碳儲存量變化，結果顯示從1990年到2015年間，由於土地利用和氣候變化，流域碳匯受到了顯著影響（圖3）；而中國黑龍江地區的碳儲存量評估，反映出不同地域特徵下碳儲存的變化（圖4）。這些研究顯示了InVEST模式在實現淨零碳排放和區域生態系服務管理中的重要性，幫助區域進行碳排放管理，推動環境永續發展。

GIS和其支持的模式，如SWAT和InVEST，為我們提供了強大的工具來應對環境挑戰。這些技術不僅能夠精確地評估和管理資源，還能幫助決策者制定更科學的環境保護和發展策略，隨著技術的進一步發展和應用，我們有理由相信，GIS及其環境評估模式將在推動全球環境永續發展中扮演越來越重要的角色。

未來展望：GIS與環境永續發展

隨著全球人口不斷增長和都市化進程的加快，環境保護和資源管理面臨的挑戰日益嚴峻，地理資訊系統（GIS）作為一項先進的技術工具，已在環境評估、資源管理和政策制定中發揮了關鍵作用。展望未來，GIS的應用將更加廣泛和深入，特別是在環境非點源污染評估和永續發展方面，GIS將繼續引領我們走向更永續的未來。

首先，GIS在環境監測和數據分析方面的優勢將進一步提升環境保護的效率和精確

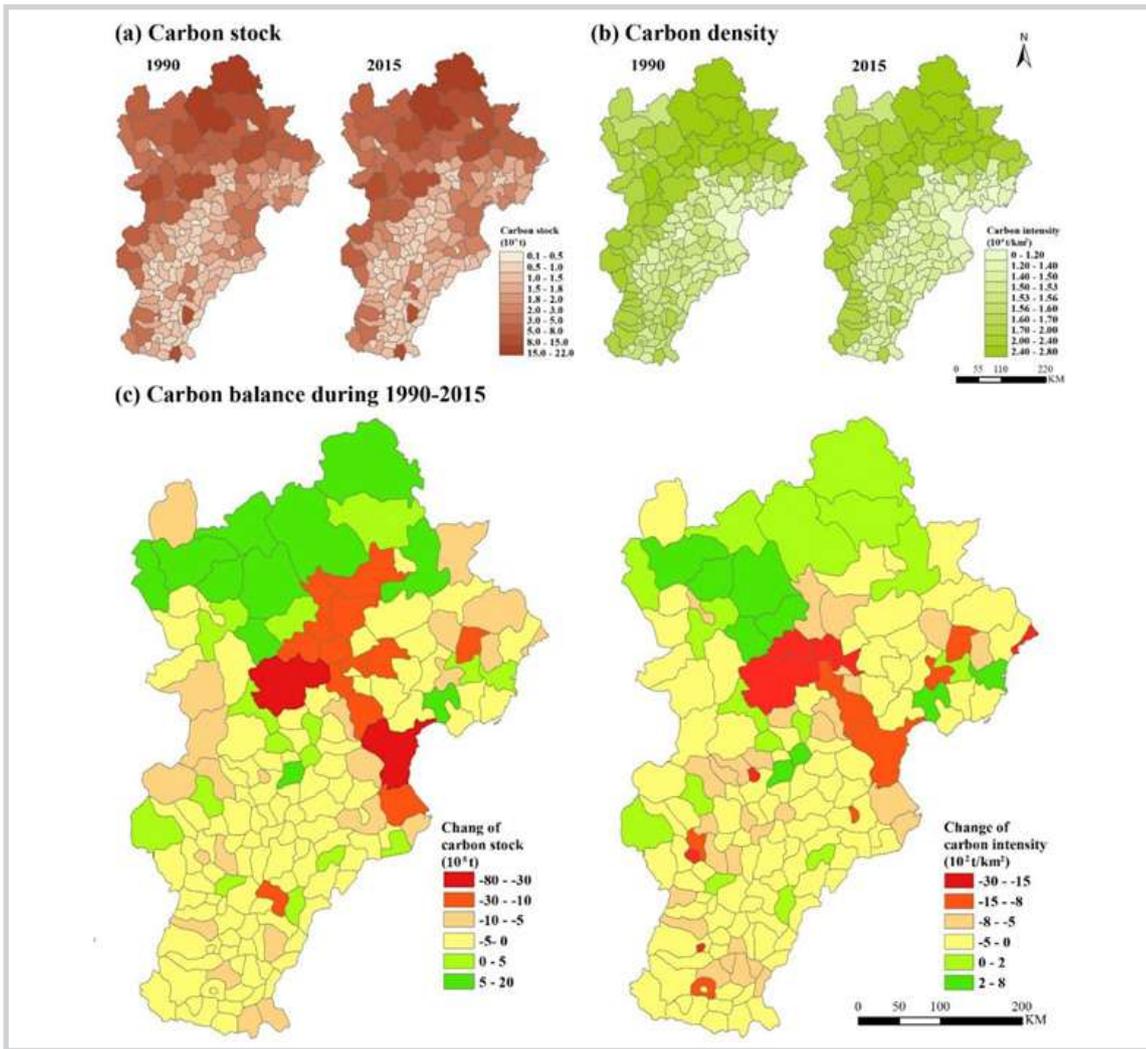


圖3：應用InVEST模擬中國京津冀地區(a)碳儲存、(b)碳密度和(c)碳平衡模擬成果。（引用自：Wang et al., 2019）

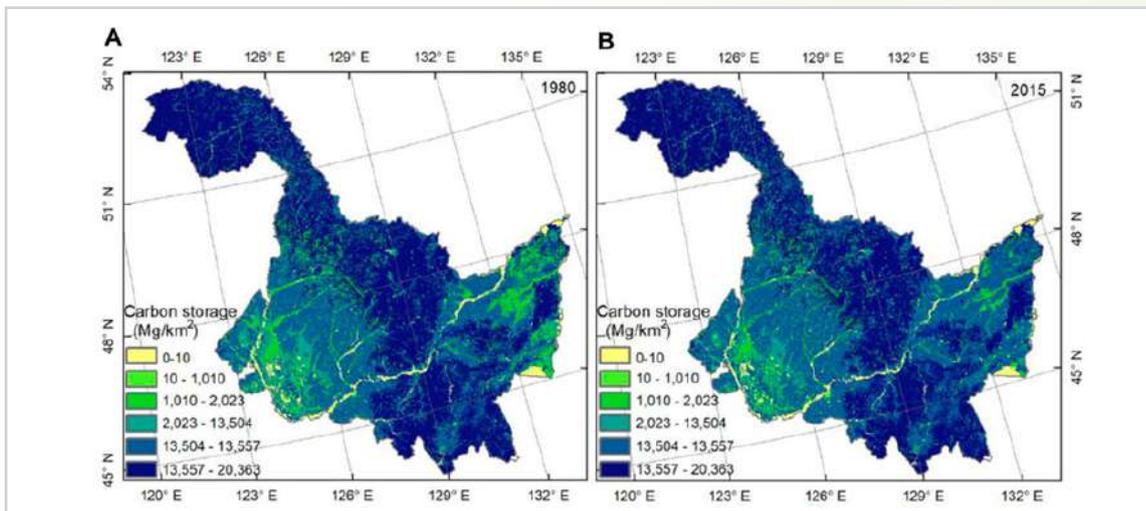


圖4：應用InVEST模擬中國東北黑龍江省1980年與2015年碳儲存的變化。（引用自：Li et al., 2022）

度，通過結合各種環境模型，如SWAT和InVEST，GIS能夠提供精確的空間數據和可視化結果，使決策者能夠更好地理解環境變化及其影響。例如，SWAT模式能夠模擬水流、污染傳輸和作物生長，結合GIS的空間分析，可以精確劃分流域，評估水資源和污染狀況。而InVEST模式則可量化生態系服務價值，模擬碳儲存量和排放量，為碳匯管理和環境政策提供科學依據。

未來，隨著技術的不斷進步，GIS的應用將更加智能化和自動化。人工智慧（AI）和機器學習（ML）技術的引入，將使GIS能夠處理和分析更大規模、更複雜的數據，並提供更為精確的預測和建議，例如通過AI算法，GIS可以自動識別和標註環境變化的熱點，預測未來環境趨勢，從而幫助決策者提前制定應對措施。（本期專題策畫／生農學院王淑珍副院長&工學院江茂雄院長）

參考文獻：

- [1] Chiang, L. C., Liao, C. J., Lu, C. M., & Wang, Y. C. (2021). Applicability of modified SWAT model (SWAT-Twn) on simulation of watershed sediment yields under different land use/cover scenarios in Taiwan. *Environmental monitoring and assessment*, 193(8), 520.
- [2] Lin, G. Z., Hsu, S. Y., Ho, C. C., Chen, C. F., Huang, J. C., & Lee, T. Y. (2022). Application of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to evaluate the fates of nitrogenous fertilizer in subtropical mountainous watershed tea farms. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3), 213.
- [3] Li, X., Huang, C., Jin, H., Han, Y., Kang, S., Liu, J., ... & Sun, L. (2022). Spatio-temporal patterns of carbon storage derived using the InVEST model in Heilongjiang Province, Northeast China. *Frontiers in Earth Science*, 10, 846456.
- [4] Wang, C., Zhan, J., Chu, X., Liu, W., & Zhang, F. (2019). Variation in ecosystem services with rapid urbanization: A study of carbon sequestration in the Beijing–Tianjin–Hebei region, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 195–202.



江莉琦 小檔案

現任臺大生物環境系統工程學系副教授。美國普渡大學農業生物工程博士，臺大生物環境系統工程碩士、學士。研究專長為農業非點源污染防治、農地水資源管理、水文 / 水質模式應用、集水區規劃與管理、土地與環境變遷研究、環境污染監測與分析。開授課程有集水區規劃與管理、流域分析與模擬、水土保持以及水資源工程等。