



污染土地再利用之環境績效評估工具發展

鑫訓工程顧問股份有限公司總經理 / 黃 智

關鍵字：污染土地再利用、褐地、環境績效、溫室氣體

摘要

土地資源的永續利用是一項對於國家發展而言，相當重要的課題，過去對於污染土地再利用的思維著重在經濟與社會面效益的呈現，隨著環境課題的演進，污染土地再利用率在氣候變遷與調適方面的效益探討，近年也獲得國際間的重視。本文透過對於國內推動污染土地再利用的軌跡與現況的分析，以及國際間對於污染土地再利用在氣候變遷相關面向的研究成果，探討我國污染土地再利用率在環境績效以及減碳效益的評估工具發展的潛在影響與挑戰，期能為未來相關評估工具發展提供參考。

一、前言

土壤與地下水污染的存在往往是工業發展過程所需承受的後果，國際間對於污染的土壤與地下水整治的技術在過去的數十年間也有長足的進步，然而自 90 年代開始，歐美先進國家已經發現土壤與地下水的整治工作有其原生的限制，往往需要面對技術無法處理或成本效益的挑戰，因此開始導向以健康風險為基準的污染場址管理概念以及活化與再利用污染土地的思維。環境部（前環境保護署）於民國 99 年 2 月公告施行「土壤與地下水污染整治法」（以下簡稱土污法）正式將污染場址管理納入完整的環境保護政策，並



於民國 100 年初步完成污染土地再利用的政策架構與推動方案 [1]。整體的制度設計在於令污染土地再利用成為永續土地利用的一環，特別是對於臺灣地少人稠特性，促使污染土地得以活化再利用，所減少的環境負荷以及所創造的經濟效益是主要的雙引擎。過去著重於展現經濟效益的污染場址活化，近年隨著淨零議題的發酵，連結氣候變遷或永續利用的環境效益逐漸獲得重視。例如在歐洲有 2,000 平方公里的廢棄工業用土地，藉由活化這些廢棄或污染土地可以減少城市蔓延的問題，而且於活化過程中，可以透過建築材料的能源使用規劃，減少能源使用量與二氧化碳的或溫室氣體的排放量 [2]。

由此可見歐美先進國家對於污染土再利用或者褐地活化的效益，近年在經濟、社會與環境的三大面向評估課題中，亦納入關於因應氣候變遷以及溫室氣體減排的評估因子。此等趨勢值得國內在推動污染土地再利用的工作上參考，如可以進一步展現該等工作對於淨零的貢獻，應可以令污染土地再利用的市場吸引力提升。因此本文初步研析國際間對於污染土地再開發與氣候變遷或溫室氣體減排的關聯性及相關效益的評估方法，也回顧國內的污染土地再利用的評估方式，就後續國內發展污染土地活化與環境績效或減碳效益連結之評估工具發展方向提出建議供參。

二、國際間的污染土地再利用的環境面向績效評估

國際間對於褐地的定義相對多元，例如較廣泛的定義「曾經開發但目前沒有使用的土地」或「曾經開發利用的區域因過去使用上的

條件或周邊環境的影響，致使目前若沒有適當地人為介入則無法使用」[3]，此等定義涵蓋經濟方面（如產業蕭條）與環境方面（如土壤受到污染）的條件。另外亦有較特定的定義，例如「任何因存在或潛在有建物、土壤或地下水的污染，需要於再開發、再利用與擴展土地過程，同步進行場址調查或整治工作方可以完成再開發、再利用的廢棄或低度利用的場址」[4]。在本文探討上先以國內污染場址為標的，亦即已確認有環境污染狀況之土地，因此在定義上本文先以「污染土地再利用」作為標的。

對於因應經濟或人口成長而有強大土地使用需求的國家而言，永續土地的利用與整治復育整為加速污染土地再利用的重要驅動力。若由氣候變遷的角度視之，研析污染場址污染與土壤的特性可以預先建立、預測與深入了解相關環境條件與環境因素的連結，因此近年對於污染土地再利用的策略與降低氣候變遷所造成的環境衝擊研究也逐步增加，而相關策略也被視為永續土地管理的資源。

面對污染土地再利用的挑戰，要量化污染土地再利用的可歸因於三個層次的衝擊：(1) 主要衝擊聚焦於移除有害污染物相關的風險管理；(2) 次要衝擊是整個再利用過程的生命週期與復原程序；(3) 第三層次衝擊則是有關再開發污染土地所產生的後果與效益 [3]。由此可見污染土地再利用的整治與風險管理是促成再利用的首要挑戰，而將土地利用的生命週期管理結合整治程序與風險管理則是成功推動土地再利用的手段之一。因此，以成功推動污染土地再利用的角度而言，整治技術與土地利用策略的整合是主要的成功要素，而與氣候變遷的連結則屬於衍生的周邊效益。在決策過程，經濟面



與社會面往往被視為污染土地再利用的主要效益，部分的原因在於評估上工具的完備性與可用性，相較之下環境面的效益評估所涉及的複雜性，使評估工具的設計成為重要的挑戰。

近年隨著國際間對於淨零與氣候變遷議題的重視，污染土地或褐地再利用與氣候變遷減緩的關係也逐漸獲得探討，包括涉及「土地循環利用」以及「生態系與永續型解決方案的應用」的創新概念。至於評估特定課題對於氣候變遷的影響主要分成二個面向：(1) 溫室氣體減量與 (2) 採取調適措施，而一般認為能源使用方式是致使氣候變遷發生的主因 [2]，而 Cizler (2011) [2] 也對於污染土地再利用過程的行動與對氣候變遷的影響提出定性的關聯（表 1）。雖然僅止於定性的關聯，但由其結論可以了解到可以利用能源消耗方式規劃、大眾交通設計與減少汽車使用的需要，達到減少二氧化碳排放的目的。以歐洲為例，來自能源消耗所產生的溫室氣體占有排放量的 4/5，其中的 1/3 是來自於交通，因此節約能源使用是減少溫室氣體排放以及改善空氣品質最快、最有效且最經濟的方法。加上歐洲有超過 2,000 平方公里的廢棄工業場址，如果能有效的活化再利用，除可避免或減緩城市蔓延的發展，同時可以減少未來能源的消耗以及溫室氣體的產生。

土地的再利用原則上就是透過技術或政策手段，將污染土地重新帶回經濟與自然的循環中（亦即活化土地生命週期）。一般而言，污染場址具有既存的基礎建設，且通常位於有既存交通設施，故不論是在再利用過程或是土地活化後的交通相關的溫室氣體排放都比採用素地或綠地開發者，有明顯的溫室氣體減量的效益。美國環保署曾彙整與比較 12 項針對褐地再開發與綠地開發的對比研究成果發現 [5]，褐地再利用案例的車輛行駛里程（Vehicle Miles Travelled, VMT）比綠地開發的案例平均可以減少 61% ~ 75%，因交通產生的溫室氣體排放量就因此可以降低。然而前項的比較研究中也發現雖然都是以 VMT 作為指標，但欠缺具有一致性且可轉換使用的評估方法，因此發展具有通則性的環境效益評估方法（如針對溫室氣體排放）仍有其需要。

推動污染土地再利用的工作，往往需要地方政府的協助，因此在探討經濟、社會與環境三個面向的效益時，亦應考慮對地方政府的助益，例如因再利用促使地價上漲以及稅收增加、社區的發展與居民的生活品質提升以及減少綠地開發、污染改善與生態的復原等 [4]，都是可以促進地方政府參與的驅動力。

表 1 污染土地再開發過程的行動與氣候變遷之影響

行動	對氣候變遷之影響
土地循環利用	集中都市開發、自然環境保育
建築物再利用	集中都市開發、自然環境保育
創造綠地區域	自然生態系統保育
應用再生能源	減少二氧化碳排放、減少能源消耗與資源保育
納入公共運輸網路	藉減少汽車的使用降低二氧化碳排放
混合用途的土地開發	藉減少汽車的使用降低二氧化碳排放



三、國內污染土地再開發的效益評估

環境部在土污法公告施行初期即以著手研議有關污染土地再利用相關的政策以及評估工具 [1]，除了針對政策推動與法規制度進行研究外，也研擬有關污染土地再利用的效益評估工具，雖然當時較著重於經濟面的評估，但亦有提出關於污染土地永續利用的指標，其中即涵蓋「溫室氣體排放量」的環境永續指標。過程中亦採用國內三處污染場址進行經濟面評估工具的應用與試算，其評估結果展現土地價格上漲、地價稅收、就業機會創造以及取代素地開發的土地成本降低等面向都有明確的正面效益，依照當時的條件以中石化安順廠為標的估計之再利用潛在經濟效益可達新台幣 169 億元以上，然對於環境面與社會面的效益評估當時尚在設計階段而未深入探討。

環境部（原環境保護署）為能評估污染土地再利用場址對於永續性是否兼具經濟、社會及環境三面向均衡考量，曾研擬污染土地再利用永續發展評估指標 [6]，該等指標涵蓋經濟、環境與社會面向的 18 項指標，其中基礎設施連結性、交通網路連結性、大眾運輸系統連結性及公路交通便捷性等，應可以反映潛在的溫室氣體排放量的變化。隨著國際淨零議題的發展，行政院國家永續發展委員會於 2022 年 3 月發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，環境部環境管理署於 2025 年研析污染土地再利用結合淨零排放之可行性方案，包括污染土地發展綠色能源、污染土地建置儲能設施以及捕捉空氣中的溫室氣體 [7]。就減少溫室氣體排放的部分，較偏向後續土地利用方式的規劃與設計，尚未以再開發的生命週期為基礎加以建立。因此

基於整體土地循環過程且可以連結溫室氣體排放變化的評估方法，與過去美國環保署的評估需求相當類似 [5]，亦即需要可以量化環境衝擊且可適用於多元的污染土地再利用情境之分析評估方法。

四、污染土地再利用之環境效益評估的工具

對於污染土地再利用的效益評估是以經濟、社會與環境三大面向為基礎，利用不同面向探討適合的指標，建構一套完整的再開發效益評估方法是常用的方式。同時，在考量不同面的指標時，應該依照再開發計畫的生命週期以及不同階段會涉及的利害關係人制定指標 [8,9]。在多數的再利用計畫中，最常用的效益呈現是經濟面的回報，特別是在開發後用途的效益評估，這種方式相對簡要，但對於再開發工作之決策的輔助性較低。因此，Cappai *et al.* (2018) [8] 整合不同有關永續開發的規範（如 LEED-ND、BREEAM Community、CASBEE-UD 等）提出涵蓋經濟、社會與環境三大面向的主題領域，其中連結環境效益的主題包括自然資源管理、生物多樣性、自然區域品質、環境資源保護以及健康改善，而基於多元主題領域所建立之輔助決策指標系統 [9] 與減碳相關的主要是能源消耗相關的指標。

美國環保署針對污染土地再開發的環境效益評估方法，首先彙整與研析 12 個評估案例後，歸納出 VMT 是唯一可通用且可反映環境效益的重要變數 [5]，可見要適切的評估環境效益，需要更多可通用且量化的指標。於是美國環保署發展出結合空氣品質、個人



交通能源使用以及水質的環境指標系統，同時為了能增加其通用性，相當數量的指標是以人均的方式表現與比較。相較於兼顧經濟、社會與環境面的指標系統，美國環保署所發

展的環境效益指標系統專注於環境效益（表2），因此可以直接連結減碳效益（例如二氧化碳排放量與由VMT計算交通的二氧化碳排放量與個人交通能源使用量等）。

表2 美國環保署採用污染土地再開發之環境績效評估指標

可及性指標	
交通分析區域內（Traffic Analysis Zone, TAZ）的家庭戶數	
區域內距離 TAZ 中心 10 分鐘步行範圍內的家庭比例	
區域內距離 TAZ 中心 30 分鐘大眾運輸可達範圍內的家庭比例	
區域內距離 TAZ 中心 6 英里（單一駕駛車輛）可達範圍的家庭比例	
TAZ 區域內的就業人口	
區域內距離 TAZ 中心 10 分鐘步行範圍內的就業人口比例	
區域內距離 TAZ 中心 30 分鐘大眾運輸可達範圍內的就業人口比例	
區域內距離 TAZ 中心 6 英里（單一駕駛車輛）可達範圍的就業人口比例	
環境績效指標	單位
土地面積	英畝
人口密度	人／毛英畝
住宅鄰近運輸距離	¼ 英里範圍內之人口百分比
就業／住宅平衡度	工作數／住宅單位（DU）
就業密度	就業人口／毛英畝
就業鄰近運輸距離	¼ 英里範圍內之就業人口百分比
氮氧化物（NO _x ）排放量	磅／居民／年
二氧化碳（CO ₂ ）排放量	磅／居民／年
碳氫化合物（HC）排放量	磅／居民／年
一氧化碳（CO）排放量	磅／居民／年
住家起訖行程之車輛里程	英里／人／日
非住家起訖行程之車輛里程	英里／人／日
總車輛行駛里程	英里／人／日
住家起訖行程次數	次／人／日
非住家起訖行程次數	次／人／日
總車輛行程次數	次／人／日
住宅密度	住宅單位（DU）／毛英畝
個人車輛能源使用量	百萬英國熱量單位（MMBtu）／人／年
暴雨逕流與污染指標	單位
土地面積	英畝
年逕流量	英畝英尺
氮	磅
磷	磅
懸浮固體	磅
生化需氧量（BOD）	磅
化學需氧量（COD）	磅
油脂	磅
鉛	磅
銅	磅
鋅	磅
鎘	磅
鉻	磅
鎳	磅
糞大腸桿菌	百萬菌落數
糞鏈球菌	百萬菌落數



採用前述的污染土地再利用的環境效益指標系統，美國環保署針對 5 處城市的 163 處污染土地（或褐地）進行再利用的評估 [10]，發現污染土地的再開發相較於傳統的綠地開發平均可以減少 32% ~ 57% 的每日人均車輛里程數與二氧化碳排放量，而同樣戶數的土地的耗損面積則為 1/4 ~ 1/2，因此從永續土地利用的角度可以輔助土地開發工作決策需要。

國際間發展與污染土地再利用為標的環境績效評估工具是以整合多元的指標系統為主要的方式，然由於在開發所涉及的面向廣泛，且污染土地或污染場址的特性差異，採用指標系統可能無法涵蓋或完全適用永續利用的所有主題 [9]，例如都會區與工業區污染土地的差異。其次，因應多元面向所設計之評估工具有賴充足與可用的資料，即使有理論上完整且完備的評估指標，若欠缺相對應的可用資料，亦不適合納入評估系統。另外，將可用資料轉換成為可呈現績效的資訊往往需要適切的模式，例如美國環保署所建立的環境績效評估系統，即涉及區域交通模擬、區域逕流傳輸以及特定的地理資訊分析工具。由此可見，對於環境績效的評估工具，除了考慮指標系統的完整性外，亦需要充分考慮可用資料的內涵以及將資料轉換為資訊的模式。在本研究嘗試以國內污染場址為標的，利用國際間的評估工具進行初步的評估時，即遭遇資料不足與模式應用上的困難。

五、結語

污染土地再開發的效益評估是多元面向，其中經濟面與社會面的評估方法較為完

備，國內在經濟面的評估也已具備相對完整的工具。隨者永續與淨零議題受到重視，有關環境績效的評估以及與減碳效益的評估工具也成為近年受到關注的課題。國際間相對應的評估工具是以指標系統的設計方式為主，但往往會需要面對多元再開發情境所需指標內涵的差異，而使得評估工具本身不易達到通用性的目的。其中，環境績效的評估工具是近年國際間的關注主題，其驅動力部分來自淨零課題的發酵。

過去國內針對污染土地再利用的經濟面與社會面的評估有較充分的工具，在環境績效的評估工具方面，應該是未來的發展重點，總結國內外的發展趨勢，對於國內在污染土地再利用的環境績效評估工具發展上，可以考量：

1. 依照不同開發情境設計指標系統，同時以聯集的方式建構較完整的指標項目，可依據不同情境選擇，使評估結果更貼近實務；
2. 以聚焦於永續與溫室氣體減排的標的，可考慮選擇汽車行駛里程、汽車行駛次數以及能源使用作為基礎指標，並由簡明的指標先行確認採用之可行性，再逐步擴充相關指標；
3. 相對應之計算工具與模式應先有系統的進行評析，以使指標系統是實務上確實可用。

相關環境績效評估工具若結合目前國內對污染土地再開發的經濟面與社會面評估工具，將可為相關的再利用工作之決策提供更佳的支援。



參考文獻

1. 行政院環境保護署 (2011) 污染土地再利用制度研議、整合及評析暨土污法修法後子法研訂計畫，EPA-99-GA101-03-A217，民國 101 年 3 月。
2. Cizler, J. (2013) Brownfield Redevelopment as a Measure for Climate Changes Mitigation, *Journal of Georgia Institute Cvijic*, 63:4, pp. 57-73.
3. Wan, Y., Chen, Shou, Liu, J. and Lin, J. (2024) Brownfield-Related Studies in the Context of Climate Change: A Comprehensive Review and Future Prospects, *Heliyon*, 10, e25784.
4. Sloan, M.A. and Bidolli, B.T. (2014) Aligning Brownfields Remediation to Transit Oriented Development, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 181, Environmental Impact II, pp. 565~576.
5. USEPA (2011a) Air and Water Quality Impacts of Brownfields Redevelopment: A Study of Five Communities, EPA 560-F-10-232, Office of Solid Waste and Emergency Response Office of Brownfields and Land Revitalization, Washington, DC 20460, U.S.A., April 2011.
6. 行政院環境保護署 (2014) 102 年度污染土地再利用制度推動及系統建置計畫 EPA-102-GA11-03-A026，民國 103 年 2 月。
7. 環境部環境管理署 (2025) 污染土地活化策略與再利用推動計畫，113EA040，民國 114 年 1 月。
8. Cappai, F., Forgues, D., and Glaus, M. (2018) Socio-Economic Indicators for the Ex-Post Evaluation of Brownfield Rehabilitation: A Case Study, *Urban Science*, 2:100, pp. 1~17.
9. Cappai, F., Forgues, D., and Glaus, M. (2019) A Methodological Approach for Evaluating Brownfield Redevelopment Projects, *Urban Science*, 3:45, pp. 1~21.
10. Benfield, K. (2011) How Brownfield Redevelopment Reduces Pollution, *Smart Cities Dive*, ([https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective / how-cleanup-and-redevelopment-city-brownfields-reduces-pollution/29531/](https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/how-cleanup-and-redevelopment-city-brownfields-reduces-pollution/29531/))