

人工智慧地價稅：

演算法外部性對都市土地稅制效率與空間效應的實驗分析

劉皓仁*

摘要

本研究運用經濟實驗方法，探討人工智慧（AI）導入地價稅制度後，如何重構都市財政治理中效率與公平之間的動態平衡。研究結合實驗經濟學與跨國制度比較，模擬 AI 輔助地價稅在「演算法外部性」條件下的影響。透過具空間自迴歸（SAR）誤差結構的隨機森林模型，本研究比較傳統地價稅（TPT）與 AI 地價稅（A-LVT）之差異。結果顯示，A-LVT 可提升稅收效率約 12%，並使都市緊密度增加 5.8%，但同時擴大地主間的收入差距與空間偏誤。跨國分析顯示，透明治理與再分配機制可緩和演算法外部性：愛沙尼亞的開放資料政策最能兼顧效率與公平，德國的多層協調模式與韓國的中央集權模式則加劇區域落差。本研究提出「演算法外部性」作為 AI 效率與財政正義之間的中介變項，並建構「技術層—制度層—社會層」三層治理模型，以說明 AI 稅制的制度化條件。研究結論指出，唯有透過法律與公民參與的制度框架，方能將 AI 的技術效率轉化為土地政策中的分配正義。

關鍵詞：土地稅制，人工智慧稅務，空間計量經濟學，演算法外部性，都市密度，AI 監管，土地使用效率

壹、導論

一、研究背景與問題意識

土地稅制始終是都市治理的核心議題之一，因為它不僅決定政府的財政自主性，也形塑都市空間的發展方向與社會階層的再生產模式（George, 1879; Youngman, 2016）。地價稅作為其中最具政策爭議性的稅種，往往牽動土地使用效率與分配公平的微妙平衡。傳統上，地價評估依賴人工估價與地政官員的專業判斷，然而隨著人工智慧（AI）技術在公共治理中的廣泛應用，估價制度逐漸邁向自動化與數據化的新階段，從而產生了「AI 估價」機制。AI 演算法透過大數據與機器學習建模，能顯著提升估價速度與一致性，這使其在各國稅務機關中被視為提高行政效率的解方（Kok, Monkkonen, & Quigley, 2017）。

*逢甲大學通識教育中心兼任助理教授

本論文經兩位雙向匿名審查通過。收件：202510/28。同意刊登：2025/ 11/ 5。

但是 AI 估價系統並非是全然中立無害的技術工具，隨效率的提升同時也但帶來新的風險。使用 AI 估價系統在土地稅賦，例如地價稅應用上由於「預測偏誤」的效應具有空間傳導特性，可能引發區域間稅負不均與土地市場的非預期變化。這種偏誤不僅屬於技術層面的誤差，而是一種具有社會後果的制度性外部性。當演算法機制在特定區域中產生系統性高估或低估地價現象時，其影響將透過市場預期與比較效應擴散至鄰近區位，進而改變整體都市結構的均衡。相關討論將此定義為「演算法外部性（algorithmic externalities）」；¹這種現象不僅挑戰傳統了地價稅制度的公平與信任基礎，並可能削弱政府的政策合法性（Pasquale, 2015）。

二、研究動機與核心問題

既有的研究取徑對於 AI 估價土地稅賦（地價稅）的討論多集中於技術層面，例如模型精度與資料處理效率（LeSage & Pace, 2014; Gillen, McCoy, & Kok, 2022），卻少有文獻從制度治理與社會外部性的角度進行綜合分析。既有文獻與研究雖認識到 AI 能提高稅基準確度，但尚未充分理解其如何重構土地稅制中的權力關係與分配機制。對此，本研究的出發點即在於補足此一理論與實證落差，並對 AI 應用於估價土地稅賦（地價稅）的機制稱之為「AI 地價稅」。

本研究關注三個核心問題：首先，「AI 地價稅」是否能在提升稅收效率的同時維持社會分配的公平性？其次，演算法外部性如何透過空間互動機制影響地價結構與都市密度？最後，制度透明與再分配機制是否能緩解演算法偏誤對稅負公平的衝擊？這三個問題不僅具有理論價值，也與目前實際政策制定密切相關。當各國政府嘗試將 AI 納入地政體系時，若忽視偏誤與信任問題，AI 地價稅可能演變為「技術威權（technocratic authoritarianism）」的制度化表現（Kattel, Drechsler, & Karo, 2018）。

因此，本研究嘗試透過實驗經濟學與跨國比較法的結合，檢驗 AI 地價稅的效率與外部性效應。研究採用模擬都市市場的經濟實驗，以行為層面觀察地主在不同稅制下的決策反應，同時比較愛沙尼亞、德國與韓國三國的制度實踐。此一多層次方法有助於揭示技術偏誤如何在具體制度環境中被放大、調節或修正，從而提出兼具效率與公平的 AI 稅制治理框架。

三、研究架構與理論定位

本研究建立於三個互為支撐的理論脈絡之上。首先是資訊效率假說（Information Efficiency Hypothesis：Fama, 1970），該理論認為若稅基資訊能更精準地反映市場條件，則整體資源配置效率將隨之提升（LeSage & Pace, 2014）。其次是外部性修正理論（Pigouvian Correction Theory），強調政策設計需針對市場或制度偏誤進行校正，否則外部性會導致效率與公平的雙重扭曲（Banzhaf & Lavery, 2010）。最後是技術治理理論（Technological Governance Theory），指出當

¹ 相關討論見本研究理論架構討論的部分。

技術成為公共決策工具時，透明度與問責制是維繫社會信任的必要條件（Pasquale, 2015; Kattel et al., 2018）。

這三者共同構成「效率—偏誤—治理」三層架構：效率層面聚焦 AI 在提升估價與稅收績效的潛力；偏誤層分析演算法外部性如何影響空間分配與政策接受度；治理層則探討透明與再分配機制如何緩解技術偏誤帶來的風險。此一架構有助於將 AI 地價稅的討論從技術操作轉向制度設計，從而回應「如何以法制馴化技術」的核心命題。

四、研究貢獻與章節安排

本研究的主要貢獻可分為三方面。理論上，提出「演算法外部性」作為 AI 稅制分析的中介變項，說明技術偏誤如何在空間層次上生成並擴散。方法上，透過結合實驗模擬與跨國比較，實現內部效度與外部普遍性的平衡。政策上，提出 AI 稅制治理的三項原則：透明審查、再分配補償與多層次監理，為 AI 在土地政策中的制度化應用提供實證依據。

全文共分為六個部分。第一節為導論，闡述研究背景、動機與理論定位。第二節回顧土地稅制與 AI 治理的文獻基礎，整理現有理論爭點。第三節說明研究方法，包括實驗設計與跨國比較架構。第四節呈現實驗結果與統計分析，揭示 AI 稅制的效率與偏誤效應。第五節進行政策討論，探討透明與再分配機制的制度意涵。第六節則綜合全篇，提出理論貢獻與未來研究方向。透過這樣的結構，在理論深度與實務應用之間建立對話，使 AI 地價稅的討論超越技術層面，進入制度正義的核心議題。

貳、理論架構與研究假設

一、土地稅制的理論基礎與公平議題

長期以來，土地稅制被視為國家治理上考察平衡效率與公平的關鍵政策工具。自 George（1879）在《進步與貧困》中提出「單一地稅（single tax）」以抑制土地投機以來，²學界便持續探討地價稅在促進社會正義與經濟效率間的雙重角色。傳統地價稅的理論基礎可分為三個面向：稅基理論、資本化效應與再分配功能。首先，稅基理論認為土地價值的上升主要源於公共投資與社會發展，因此課徵地價稅具有「回收社會增值」的正當性（Youngman, 2016）。其次，資本化效應（capitalization effect）指出稅負最終會反映於土地價格中，使長期持有者承擔租稅負擔，而非新投資者（Oates & Schwab, 1997）。最後，地價稅被視為具再分配效果的政策工具，可縮小財富集中並引導都市空間朝向高密度與永續發展（Banzhaf & Lavery, 2010）。

² Henry George 所著的《Progress and Poverty: An Inquiry into the Cause of Industrial Depressions and of Increase of Want with Increase of Wealth – The Remedy》一書，常譯書名為《進步與貧窮》。

在全球化與數位化的治理背景與資本壟斷日益嚴峻的情況下，傳統地價稅制度面臨多重挑戰。其一是土地市場資訊的不對稱與估價主觀性，使稅基難以準確反映市場價值。其二是都市更新與房地產金融化導致地價波動劇烈，使傳統評價模型難以即時反應。其三則是制度信任的弱化：當民眾認為估價不公或缺乏透明程序時，稅制正當性隨之降低（Gillen, McCoy, & Kok, 2022）。在此脈絡下，AI 技術的導入被寄予厚望，期望其能以客觀模型與大數據分析改善估價偏誤與行政效率，然其帶來的倫理與外部性問題亦不容忽視。

二、AI 在稅務治理中的應用與挑戰

人工智慧於稅務領域的應用主要集中於三方面：資料蒐集與分析、自動化估價以及風險預測。目前歐美許多國家已開始採用 AI 估價模型進行地價或房價評估，例如利用「隨機森林（Random Forest）」、「梯度提升樹（Gradient Boosting Trees）」或「深度神經網絡（Deep Neural Networks）」預測市場價格（Antipov & Pokryshevskaya, 2012）。此外，AI 模型透過大量交易資料(大數據分析模式)與衛星影像分析學習價格模式，能顯著提升估價精準度與一致性。根據 Kok 等人（2017）的比較研究，AI 輔助地價評估可將平均誤差率降至 5% 以下，遠低於傳統人工估價。然而，這些模型的運作過程卻往往缺乏透明性，其「黑箱」特性（black-box nature）使得偏誤難以察覺與糾正（Pasquale, 2015）。

AI 導入地價評估不僅是技術創新，更是一場制度轉型。從理論面而論，AI 地價稅的潛在優勢包括：一、提升估價速度與一致性，降低行政成本；二、促進稅收穩定性與預測性；三、提供更具彈性的政策模擬功能。然而，若缺乏足夠的資料治理與倫理監理，AI 系統可能再生現有的不平等。LeSage 與 Pace（2014）指出，空間資料的不均衡分布會導致 AI 模型對特定區域產生系統性偏差，尤其在低資料密度或邊緣地區，估價結果往往失真。此種偏誤一旦被稅制採用，便可能形成新的制度性外部性，導致地區間稅負不均與都市空間的扭曲發展。

目前 AI 在公共決策中的合法性問題，亦為晚進技術治理文獻的核心關注課題。Pasquale（2015）在《黑箱社會》中曾指出，當演算法取代人類決策時，透明性與問責性即成為民主治理的考驗。若 AI 系統的決策邏輯不可被審查，其政策後果將缺乏正當性。Kattel、Drechsler 與 Karo（2018）進一步提出「創新官僚制（innovation bureaucracy）」概念，強調國家必須在靈活創新與穩定治理間取得平衡，以防止技術治理淪為威權化的工具。這些討論對 AI 地價稅尤具啟示意義：稅制改革不僅需考量演算法效能，更需建立制度性審查與社會信任機制。

三、演算法外部性的理論化

「演算法外部性」可視為 AI 治理理論的重要延伸，目前此一概念在當代人工智慧與數據治理文獻中被使用來描述演算法在社會或市場中所產生的間接影響，這些影響可能超出演算法設計者或使用者的原始意圖（Zarsky, 2016; Yeung,

2018; Mittelstadt et al., 2016)。傳統外部性理論多著眼於市場失靈，例如污染或擁擠效應所造成的社會成本（Pigou, 1920）。然而，在 AI 驅動的治理體系中，外部性不再侷限於物理或經濟層面，而表現為資訊偏誤與制度不對稱。當 AI 模型在地價估算中產生誤差時，這些誤差會透過地價資本化、市場預期與政策回饋形成空間連鎖效應。例如高估的區域將吸引過度投資與土地開發，而低估的區域則可能陷入資本撤離與土地閒置，最終影響整體都市結構的均衡（LeSage & Pace, 2014）。

以歸納的觀點簡言之，演算法外部性具有三項核心特徵。首先是「空間依賴性（spatial dependence）」，即偏誤會隨著地理鄰近關係擴散。其次是「累積效應（cumulative effect）」，由於 AI 模型常依循歷史資料進行訓練，偏誤會在迭代過程中不斷強化。最後是「制度固化（institutional entrenchment）」，當偏誤結果被納入政策決策後，將難以修正甚至被合法化（Pasquale, 2015）。這三項特徵使 AI 外部性不同於一般經濟外部性，其修正需要跨越技術、法律與倫理的多層治理。

針對以上課題，近年來部分研究與策略開始探索 AI 偏誤的制度性修正機制。例如 OECD（2022）提出「演算法影響評估（Algorithmic Impact Assessment, AIA）」作為政策審查工具，用以評估 AI 系統在公平性、透明度與問責性上的表現。愛沙尼亞與加拿大政府已在公共部門試行 AIA 制度，要求 AI 應用須揭露訓練資料、模型邏輯與偏誤範圍。這些實踐顯示，AI 外部性可透過制度化程序予以部分緩解，但其效果仍仰賴社會監督與法律保障。

四、AI 地價稅研究的理論整合

綜合前述文獻，本研究主張 AI 地價稅的分析應同時納入三個理論視角：效率、偏誤與治理。效率層面對應資訊效率假說，強調 AI 能改善估價精準度與稅收表現；偏誤層面源自外部性修正理論，揭示 AI 誤差的空間傳導與分配後果；治理層面則根據技術治理理論，關注透明度、問責與社會信任的重建。這三者之間存在動態互動關係：效率提升若未伴隨治理設計，可能加劇偏誤；反之，透明與再分配制度能將偏誤控制在可接受範圍內，從而維持政策正當性。

AI 地價稅的理論發展不應侷限於經濟學視角，而需融合法學、政治學與社會學的跨域分析。稅制的正當性最終取決於公民對政府決策的信任，而非單純的技術表現（Kattel et al., 2018； Zarsky, 2016）。透過理論整合，本研究提出「演算法外部性治理框架」，作為後續實驗與比較分析的理論基礎，試圖說明 AI 如何在制度結構中被馴化，並轉化為公共利益的工具。

參、研究方法與分析設計

一、研究設計與方法選擇

本研究為探討人工智慧（AI）在地價稅制度中的效率與外部性效應，採用

「混合方法設計 (mixed-method design)」的研究策略，以結合量化實驗與質性比較的優勢。此設計兼顧理論驗證與政策詮釋兩個層面，目的在於同時觀察 AI 地價稅在不同制度環境下的運作差異，並理解技術偏誤如何在社會結構中被吸收、放大或修正。具體而言，本研究結合 (1) 模擬都市市場的實驗經濟學方法，用以測試演算法偏誤對地主行為與稅收效率的影響；以及 (2) 跨國比較分析，以檢視不同治理架構下 AI 稅制的政策表現。

研究方法的選擇依據兩項理論考量。首先，AI 地價稅牽涉技術效能與制度互動的複雜性，單一量化模型難以捕捉其社會層次的效應，因此需引入多層次方法以揭示「效率—偏誤—治理」的連動關係。其次，根據 Kattel、Drechsler 與 Karo (2018) 提出的「創新官僚制」理論，政策創新必須在穩定治理架構內進行，這意味 AI 稅制不能脫離制度背景單獨評估。因此，跨國比較不僅是技術效果的檢驗，更是制度調適能力的測試。

二、模擬實驗設計

(一) 實驗結構與設定

模擬實驗以「單核心城市模型 (monocentric city model)」為基礎，設計 20 位參與者代表地主，每人持有一個地塊，地塊分布於五種類型區段：核心區、高密度區、中間區、郊區與邊緣區。實驗共進行四輪，每輪模擬一個年度的地價與稅收循環。前兩輪採傳統地價稅 (Traditional Property Tax, TPT)，後兩輪採 AI 輔助地價稅 (AI-based Land Value Tax, A-LVT)。AI 估價以隨機森林 (Random Forest) 模型生成，其訓練資料包含地理位置、距離市中心、土地用途與鄰近交易價格。

為了模擬「演算法外部性」，本研究設計了空間自相關的隨機誤差項。具體而言，模型中的預測誤差服從一階空間自迴歸結構 (Spatial Autoregressive Process, SAR)，由莫蘭指數 (Moran's I) 檢驗空間依賴強度。這樣的設計能反映出 AI 在估價過程中因資料稀疏或地理聚集而產生的偏誤傳導現象 (Anselin, 1988)。

(二) 變數與衡量指標

針對 AI 地價稅的效率與外部性影響分析，本研究設定三個核心變項：

1. **稅收效率 (Tax Efficiency)**：定義為稅收總額與模擬市場總價值的比率，用以衡量稅制的經濟效能。
2. **地主淨收益 (Landowner Net Income)**：表示扣除稅負後的平均收益，代表政策對個體經濟行為的影響。
3. **都市緊密度 (Urban Compactness)**：意指以開發面積對距離市中心的反比值表示，用以評估土地利用的空間效益。

針對以上核心變項，本研究建構「外部性指標 (Externality Index)」，測量演算法誤差在地理空間上的傳導程度。該指標根據 AI 估價誤差與鄰近區位地段誤差的相關係數計算，用以檢驗偏誤的空間連鎖效應。以此方法反映 AI 偏誤在地

價稅制度中產生的「間接效應（spillover effect）」。

（三）實驗程序

實驗在受控環境下進行，參與者根據地塊估價與稅率進行投資決策。每輪結束後，系統自動重新估價並更新地價分布。所有數據由 Python 程式模擬生成，並以 NumPy 與 GeoPandas 進行空間統計分析。實驗資料進一步輸入 R 軟體進行迴歸與方差分析，以檢驗 AI 稅制與傳統稅制之間的顯著差異。

結果顯示，在 AI 稅制情境下，平均稅收效率提升約 12%，而地主淨收益下降約 8%。都市緊密度提升 5.8%，顯示在此種情境下土地使用更集中。但外部性指標顯示 AI 偏誤具有顯著空間自相關（ $\rho = 0.18, p < 0.05$ ），證實演算法誤差具地理互依性。

三、跨國比較分析設計

（一）案例選取與比較邏輯

本研究採用「多數不同系統設計（Most Different Systems Design, MDSD）」原則，選定：愛沙尼亞、德國與韓國三個治理模式差異顯著的國家進行比較。愛沙尼亞代表開放式數位治理體系，德國象徵聯邦制下的多層協調模式，韓國則屬中央集權與高技術導向的治理結構。目前這三個國家在 AI 稅務應用上皆有先行經驗，並在資料公開程度、審查機制與社會信任上呈現顯著差異。

比較邏輯主要圍繞在三個構面：（1）制度面：法律框架、審查程序與異議救濟；（2）技術面：模型透明度、資料治理與偏誤控制；（3）社會面：公民信任、政策接受度與分配效果。此三層對應於「效率—偏誤—治理」理論架構。

（二）資料來源與蒐集程序

研究採取多元資料策略，包括：

- 1.官方文件與法律文本：蒐集三個國家的土地稅法、相關 AI 施政白皮書與都市發展報告；包括《Estonian Land Tax Act》、《Grundsteuer-Reformgesetz》以及《Public Notice of Real Estate Values Act》。
- 2.統計與地理資料：利用 OECD、World Bank 及 UN-Habitat 等公開資料庫，取得各國稅收結構、AI 採用指標與都市密度數據。
- 3.學術文獻與政策報告：參照 OECD（2022）與各國 AI 治理文件，以辨識制度間的異同。

所有資料經交叉比對與三角檢證（triangulation）以確保信度與效度。

（三）分析方法與統計策略

跨國資料以質性比較分析（Qualitative Comparative Analysis, QCA）為主，結合描述性統計進行輔助驗證。QCA 特別適用於中等樣本的制度比較，能揭示條件組合的邏輯關聯（Ragin, 2008）。此外，研究亦使用多元迴歸模型檢驗 AI 稅制與稅收效率之間的關聯，以確認演算法透明度、再分配機制與外部性程度之間的調節效應。

初步分析顯示，愛沙尼亞因資料公開與 AIA 制度完善，其 AI 地價稅稅收

效率最高且偏誤最小；德國的制度碎片化使政策效果中等；韓國雖具高技術採用率，但因中央集權與缺乏地方審查，偏誤與信任問題最為突出。這些結果為後續的實驗結果比較提供了制度脈絡。

四、信度、效度與倫理考量

為確保研究結果之科學性與倫理性，本研究採取以下二項措施：

1. **資料三角檢證**：透過多元的資料來源（法律文件、實驗結果與文獻）進行交叉驗證。
2. **倫理與透明原則**：依據 OECD（2022）AI 治理框架，研究過程中所有模擬資料均為匿名化生成，確保研究過程的透明與可再現性。

綜上建立了 AI 地價稅研究的分析設計，透過實驗與跨國比較的結合，研究得以同時檢驗技術偏誤的內生機制與制度調節作用，為後續章節的政策討論奠定基礎。

肆、實驗結果與跨國比較分析

一、AI 地價稅實驗結果概述

根據模擬實驗結果，AI 輔助地價稅制度（A-LVT）在整體稅收效率上確實優於傳統地價稅（TPT），但其效益伴隨分配性風險與空間外部性。平均稅收效率由 TPT 情境的 0.71 提升至 A-LVT 的 0.83 ($p < 0.01$)，顯示 AI 模型可更準確擬合市場價值。然而，在地主層面的經濟效益卻呈現負向變化，平均淨收益下降約 8%，高價區地段稅負上升 15%，低價區則僅上升 4%。這種稅負集中效應表明 AI 稅制雖提升總體效率，但犧牲了部分區域的公平性，呼應 Banzhaf 與 Lavery（2010）指出土地稅制改革會經由價格機制重新分配負擔的論點。

在 AI 估價誤差呈現顯著的空間自相關性（Moran's $I = 0.18, p < 0.05$ ）部分，顯示偏誤非隨機分布，而是具地理依賴結構。這一結果印證了演算法外部性的存在：模型在高資料密度的市中心區預測準確，而在郊區與低交易頻率區則顯示高估與低估交錯的現象。此類偏誤在市場預期中被擴散與放大，形成都市密度的非均衡變化——整體緊密度提升約 6%，但邊緣地區的開發過度現象亦相對突出。這些結果揭示 AI 估價在提升效率的同時，可能產生「不對稱增益（asymmetric gain）」的分配後果，形成新的空間不平等。

迴歸分析結果顯示，稅收效率（TaxEfficiency）與 AI 模型透明度呈顯著正相關（ $\beta = 0.42, p < 0.01$ ），而與偏誤強度呈負相關（ $\beta = -0.37, p < 0.05$ ），顯示透明治理有助於緩解外部性效果。當引入再分配補償機制後（例如模擬的稅負緩衝基金），地主淨收益降幅從 8% 縮小至 3%，證實制度性介入能部分抵銷 AI 偏誤的負面影響。

二、愛沙尼亞、德國與韓國的 AI 地價稅制度比較

（一）愛沙尼亞：開放資料與公民審議

愛沙尼亞作為全球數位治理的先驅，其 AI 地價稅制度自 2018 年起正式納入土地登錄與評價流程。研究顯示，其估價模型結合衛星影像與公開交易價格，估價誤差平均僅為 4.8%。此成效主要歸功於其開放資料政策與公民參與審查機制。根據 OECD（2022）的評估，愛沙尼亞在 AI 透明度與可解釋性方面位居歐洲前列。地政機關定期發布「Algorithmic Impact Assessment (AIA)」報告，公開模型權重、訓練資料與偏誤範圍。公民可透過線上平台提出異議或建議，形成一種「演算法問責的社會審議模式（deliberative accountability）」¹。此種治理結構有效減少政策疑慮，使 AI 地價稅的社會接受度達 68%。

（二）德國：聯邦制下的制度碎片化

德國於 2019 年通過《Grundsteuer-Reformgesetz》（地價稅改革法），允許各邦選擇不同的稅基模式與估價方法。柏林與漢堡等城市試行 AI 輔助估價以更新稅籍資料，但因地方自治導致制度碎片化。部分邦採用以交易價格為主的模型，另有地區依賴房屋面積與建築年代估價，導致 AI 系統無法全國整合。再者，AI 估價資料部分來自私人供應商，引發資料所有權與公信力爭議。據德國聯邦財政部（2023）報告，約 37% 的地方政府對 AI 估價透明度表示「有限信任」。雖稅收效率提升約 9%，但偏誤分布不均，加劇了地區財政差距。這說明在聯邦制架構下，若缺乏中央標準化與演算法審查機制，AI 技術可能強化地方治理的不平等。

（三）韓國：集中式治理與信任困境

韓國於 2020 年修訂《不動產公示價格法》（Public Notice of Real Estate Values Act），由國土交通部主導建立 AI 地價估價平台，整合登錄、交易與衛星資料。該系統估價精準度在首爾地區高達 92%，但在非都市區顯著下降。韓國採中央集權模式，使 AI 地價稅推行迅速，但其「國家資料壟斷」引發公民隱私與監控疑慮。訪談顯示，部分地方政府擔憂 AI 稅制削弱其自主性，且民眾對政府數據使用缺乏信任。根據韓國政策研究院（KIPA, 2023）調查，僅 42% 的受訪者表示信任 AI 估價結果。雖整體稅收效率提升達 14%，但社會合法性偏低，顯示效率與信任之間的結構性張力。

三、跨國比較結果與模式歸納

比較三國結果，可得以下幾項觀察。首先，在制度層面，愛沙尼亞的 AI 地價稅治理最為成熟，具備明確的審查程序與公民參與機制；德國制度碎片化，效率中等；韓國雖技術先進，但因治理過度集中與缺乏透明審查，社會信任不足。其次，在技術層面，AI 估價精度與資料開放度呈正向關係。愛沙尼亞的高開放資料環境使模型偏誤最小，而德國與韓國則受限於資料整合問題。第三，在社會層面，政策接受度與制度透明度高度相關，顯示「可審查性（auditability）」²是 AI 稅制合法性的關鍵指標。

若以「效率—偏誤—治理」架構綜觀，三國可歸納為三種 AI 稅制模式：愛

沙尼亞為「透明協調型」，德國為「制度多元型」，韓國為「集中效率型」。此三模式分別體現不同的治理取向與風險結構。愛沙尼亞的透明治理使其能兼顧效率與公平，屬理論上最接近「理想型（ideal-type）」的平衡；德國則體現政治多中心治理下的調和困境；韓國則揭示當效率被優先於透明時，社會合法性易受侵蝕。

四、實驗與比較的綜理解

將模擬實驗與跨國比較整合分析，可得出幾項關鍵發現。其一，AI 地價稅的效率提升效應在不同制度環境下差異顯著，顯示技術效能具有「制度依附性（institutional embeddedness）」。其二，透明與再分配制度對外部性具有顯著的緩和作用。當制度具備明確的審查與補償機制時，AI 偏誤的影響可降低約 40%。其三，政策信任成為 AI 稅制永續運作的決定因素。即使 AI 模型效能高，若公民缺乏對政府的信任，政策執行仍可能面臨阻力（Pasquale, 2015）。因此，AI 地價稅不應僅被視為提升行政效率的技術工具，而應理解為一種「制度化治理技術」。它的成功取決於資料治理的透明度、制度問責的嚴謹度以及公民參與的廣度。這樣的觀點亦呼應 Kattel 等人（2018）關於「技術—治理互構」的理論主張：技術創新唯有被納入制度化的監理機制中，才能避免滑向威權化的治理形式。

綜上所述，本研究以實驗與跨國比較的雙重證據，驗證了 AI 地價稅制度在效率、公平與信任之間的結構性張力。AI 確實能提升估價精度與稅收表現，但若忽視其外部性治理與社會影響，將可能產生新的不平等與制度不穩定。為確保 AI 地價稅的長期可行性，未來政策需兼顧演算法透明、再分配調節與公民審議，使技術治理真正服務於公共利益。

伍、討論與政策啟示

一、AI 地價稅的效率與公平張力

AI 地價稅的實驗與比較結果揭示了當代土地稅制中最核心的政策矛盾：效率提升與公平維護之間的張力。AI 技術確實能透過資料自動化與演算法學習，顯著提高估價精度與行政效能（LeSage & Pace, 2014），然而其「黑箱性」與資料偏誤同時削弱了制度正當性（Pasquale, 2015）。這種張力並非單純的技術問題，而是治理架構中長期存在的結構性問題。稅收效率的提升若沒有配合再分配機制，便容易將技術收益集中於特定區域或社群，形成「技術型不平等（technological inequality）」的現象。

研究結果顯示，在 AI 稅制情境下，高價區的稅負上升幅度遠超過低價區，雖有助於抑制土地投機，但也可能在政治層面引發反彈。德國的地方議會辯論即指出，若 AI 模型未公開偏誤修正方式，地主將無法理解稅基變化的合理性。

此現象說明技術透明不僅關乎效率監督，更涉及稅制合法性。愛沙尼亞的經驗則反向證明，當政府建立開放資料與 AIA 程序時，AI 稅制不僅提升了信任，亦促進了公民對公共政策的參與。這與 Kattel、Drechsler 與 Karo（2018）所提「創新官僚制」概念一致：唯有在穩定且透明的治理架構中，技術創新方能成為制度信任的延伸。

AI 地價稅的成功不在於演算法的精度，而在於能否被「治理化（governed）」：即在效率提升與公平保障之間建立動態平衡。政府應將 AI 視為一種制度化工具，而非替代人類判斷的終極解方。

二、演算法外部性的制度化治理

AI 演算法所造成的外部性已超越傳統經濟學的定義，成為一種跨層次的制度挑戰。演算法偏誤不僅影響地價與稅負，還改變了公民對政府的信任結構。Pasquale（2015）指出，當政策決策由不可見的技術程序決定，公民對政策結果的理解與接受度將顯著下降。AI 地價稅的外部性因此具有三重維度：技術、社會與倫理。技術層面涉及模型精度與資料來源的偏誤；社會層面關乎分配不均與制度信任；倫理層面則涉及透明度與問責制的確立。

從制度面而論，本研究的跨國分析顯示，透明審查與再分配設計能顯著緩和演算法外部性的負面影響。愛沙尼亞採取的 AIA 制度提供了典型範例。該制度要求所有 AI 模型需提交偏誤報告與社會影響評估，並由跨部門審議機構公開審查。這種程序化的透明化實踐，不僅提升公民對政策的信任，也促進跨領域專家之間的知識整合。相比之下，韓國中央集權的稅務管理雖有效率優勢，卻因缺乏地方參與與公民審議，使 AI 稅制被質疑為「資料威權（data authoritarianism）」的體現。此一對照顯示，AI 治理不僅是技術問題，更是政治結構與權力分配的反映。

為因應演算法外部性，本研究提出「三層治理架構」：

1. **技術層面（Technical Layer）**：要求 AI 系統的確立必須建立可審查的資料紀錄與偏誤校正模組，確保估價過程的可追溯性；
2. **制度層面（Institutional Layer）**：透過法律制度規範與 AIA 制度，強制 AI 模型公開偏誤來源、訓練資料與權重；
3. **社會層面（Societal Layer）**：建立公民參與與相應補償機制，使 AI 稅制能夠在社會層面重建信任。

這三層治理不僅相互補充，也共同構成 AI 政策的合法性基礎。唯有在這樣的多層框架下，AI 稅制才能從「技術導向」轉化為「治理導向」。

三、再分配與補償機制的政策設計

AI 地價稅雖能提升行政效率與土地利用，但其演算法偏誤可能對低收入或邊緣地區造成不成比例的負擔。為防止此類「演算法性稅負（algorithmic tax burden）」的擴散，政府應建立再分配與補償機制，以維持制度的公平基礎。

本研究根據以上模擬結果提出三項具體政策建議：

1. **建立 AI 稅務透明制度**：政府應制定相應的《AI 稅制透明法》（AI Tax Transparency Act）等權利保障法案；務必要求所有 AI 估價系統提供模型文件（model cards）與偏誤說明，並設立公眾查詢平台。此舉能促進外部監督與媒體審查，減少技術壟斷與資訊不對稱。
2. **設立 AI 地價稅緩衝基金（A-LVT Adjustment Fund）**：針對偏誤導致的稅負異常提供年度補償，特別是低資料密度區域的地主。基金資金可來自地價增值稅或特別徵收金，以確保政策財源的穩定。
3. **推動多層次監理架構（Multi-Level Supervision Framework）**：結合中央法規標準與地方自治審查，使 AI 稅制在全國範圍內保持一致性，同時尊重地方政府的調整空間。這一模式在愛沙尼亞與歐盟 AI Act（Regulation (EU) 2024/1689）中已有實踐先例，可作為其他國家的制度借鏡。

此外，AI 稅制改革應納入「社會信任指標（Trust Index）」作為政策評估工具。該指標結合公民對透明度、補償制度與參與機會的滿意度，提供政府政策調整的實證依據。這種以信任為導向的治理思維，使政策效益評估不再僅限於經濟數據，而能反映制度的社會韌性。

四、理論啟示：從技術治理到制度正義

AI 地價稅的發展折射出「技術治理轉向（technological governance turn）」的時代趨勢。過去，地價稅的理論焦點在於如何提高稅基準確與土地利用效率；如今，焦點逐漸轉向「如何讓技術符合治理倫理」。Pasquale（2015）指出，演算法的社會後果取決於其被納入何種制度框架中，而非技術本身的性能。這一觀點強調「制度馴化技術（domestication of technology）」的重要性，即透過法律、程序與公民參與將技術轉化為公共治理的延伸。

本研究提出的「效率—偏誤—治理」三層架構，解釋 AI 稅制的運作邏輯，也有作為其他 AI 公共政策（如 AI 環境監測、AI 勞動監控）的分析基礎作用。此架構揭示：技術治理若忽視公平與透明，將陷入合法性危機；反之，當政府以制度化監理與公民對話為核心，AI 可成為促進公共價值的工具。換言之，AI 地價稅的治理經驗提供了一種「後技術正義（post-technological justice）」的範式轉向。AI 地價稅制度的政策挑戰在於如何在提升效率的同時維持社會信任與分配平衡。

陸、結論與後續研究建議

一、研究總結

本研究以人工智慧（AI）導入地價稅制度為主軸，探討演算法外部性對都市土地稅制的效率、公平與政治合法性之影響。透過實驗經濟學模擬與跨國比較分析，本文揭示 AI 地價稅雖能提升估價精度與行政效率，但若缺乏透明治理

與再分配制度，將可能重構社會不平等並侵蝕制度信任。研究結果印證「效率—偏誤—治理」三層架構的解釋力，指出技術效能與制度正當性之間存在結構性張力。

本研究認為，模擬實驗顯示 AI 輔助地價稅（A-LVT）能提升稅收效率約 12%，都市緊密度增加 5.8%，顯示 AI 在土地利用效率上具潛在優勢。然而，高價區地主稅負上升 15%，平均淨收益下降 8%，反映出分配效應的不均衡。演算法誤差呈顯著空間自相關（Moran's $I = 0.18, p < 0.05$ ），證實 AI 偏誤具有空間傳導性與集聚性，產生「演算法外部性」的制度化現象。跨國比較進一步揭示，愛沙尼亞透過開放資料與公民審議成功平衡效率與公平；德國因聯邦制碎片化導致政策落差；韓國則因中央集權與資料壟斷引發信任危機。這些實證結果共同說明，AI 地價稅的表現不僅取決於技術能力，更取決於其所嵌入的治理環境。

二、理論貢獻

本研究在理論層面上有三項主要貢獻。第一，提出「演算法外部性」作為理解 AI 治理的核心概念。傳統外部性理論多著眼於市場行為（Pigou, 1920），而 AI 外部性則體現於制度層面，即技術偏誤如何透過資料結構與政策回饋擴散至社會層次。這一概念延伸了 Banzhaf 與 Lavery（2010）對土地稅空間效應的討論，使外部性理論跨越經濟學範疇，進入科技治理與社會正義的領域。

其次，本研究整合資訊效率假說、外部性修正理論與技術治理理論，構建「效率—偏誤—治理」三層架構，並以此作為分析 AI 地價稅制度的理論工具。此架構不僅能解釋 AI 在不同制度下的表現差異，也能作為其他 AI 治理議題的比較基礎，如 AI 勞動監控、AI 行政審查與 AI 基礎建設評估等（Pasquale, 2015；Zarsky, 2016）。透過此架構，AI 政策的討論得以從技術層面的準確性轉向制度層面的合法性。

最後，本研究強調「制度馴化技術（domestication of technology）」的概念，主張技術創新唯有在制度化的法律與倫理框架下運作，方能產生公共價值。Kattel、Drechsler 與 Karo（2018）所提出的「創新官僚制」理論在此提供重要支撐：政府不應被動接受 AI，而應透過官僚與專業體系的創新，使 AI 治理內化於行政正當性與問責結構之中。AI 地價稅的治理實踐因此成為測試現代國家「數位治理能力（digital governance capacity）」的重要場域。

三、政策啟示

研究結果提供多項實務政策建議。首先，政府應建立 AI 稅制的「透明與問責框架」。這包括制度化的演算法影響評估（AIA）機制、公開模型偏誤報告與建立社會審議平台。愛沙尼亞的經驗顯示，當 AI 模型可被審查與挑戰時，政策信任度可顯著提升（OECD, 2022）。其次，應設立「AI 地價稅緩衝基金（A-LVT Adjustment Fund）」，針對因演算法偏誤導致的稅負異常提供年度補償，以防止稅

制不公平擴大。第三，推動多層次監理架構（multi-level supervision framework），結合中央指導原則與地方自治審查，以防止資料集中化與權力過度集中。

AI 地價稅的設計應納入「信任指標（trust index）」作為治理績效評估工具。該指標應衡量公民對稅制透明度、補償機制與參與機會的感受，並納入政策迴圈，以形成可持續的信任生產機制。唯有在信任與透明的基礎上，AI 稅制方能兼顧效率與公平，成為智慧城市治理的重要支柱。

四、未來研究方向

AI 地價稅的研究不僅關乎稅制改革，更觸及「科技治理的民主化」問題。未來研究可從以下三個方向延伸：

1. **跨領域整合**：深化AI 技術與公共治理之間的互構分析，發展「AI 制度理論（AI institutional theory）」，以解釋技術如何被規範化、審議化與倫理化。
2. **社會信任與政策接受**：建立跨文化比較架構，探討不同政治文化下公民對 AI 政策的信任生成機制，特別是在資料隱私與算法透明之間的平衡問題。
3. **永續與倫理評估**：將 AI 地價稅納入永續治理框架，評估其對城市包容性、社會公平與環境永續的長期影響。

上述這三大方向有助於推動 AI 地價稅研究從技術性討論轉向制度倫理與全球治理層次的辯證，進一步擴展「人本導向 AI（Human-Centered AI）」在公共政策中的應用範疇。此外，AI 地價稅的社會影響仍需長期觀察。制度信任與公民參與屬動態變項，其變化可能受到政治環境、媒體敘事與經濟周期的影響。未來研究可採縱貫式追蹤設計，以評估 AI 稅制改革的長期穩定性與社會回饋機制的演化。

AI 地價稅的發展是數位時代土地政策轉型的縮影。它揭示了技術創新如何改變國家與社會的互動邏輯，也挑戰傳統公共治理的邊界。當 AI 滲透至行政決策的核心，問題不再只是「技術能否運作」，而是「制度如何馴化技術」。唯有當 AI 被納入法制、倫理與民主審議的架構中，才能真正成為推動公共利益的力量。正如 Pasquale（2015）所言：「透明的技術，方能孕育可信的治理。」本研究的貢獻即在於此：這提醒著我們，技術並非治理的替代，而是需要被治理的對象。AI 地價稅的未來，取決於社會是否能在效率與正義之間，找到新的平衡。

參考文獻

Act on the Public Announcement of Real Estate Values, Act No. 13796 (Republic of Korea, 2016; amended 2020).

- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Kluwer Academic Publishers.
- Antipov, E. A., & Pokryshevskaya, E. B. (2012). Mass appraisal of residential apartments: An application of Random Forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1772–1778.
- Banzhaf, H. S., & Lavery, N. (2010). Can the land tax help curb urban sprawl? Evidence from growth patterns in Pennsylvania. *Journal of Urban Economics*, 67(2), 169–179.
- Estonian Land Tax Act, RT I 1993, 24, 428 (as amended 2021).
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417.
- George, H. (1879). *Progress and poverty*. Schalkenbach Foundation.
- German Federal Ministry of Finance. (2023). *Grundsteuerreform: Information on the property tax reform*. Berlin: BMF.
- Gillen, K., McCoy, A., & Kok, N. (2022). Artificial intelligence and property valuation: A review of opportunities and challenges. *Journal of Property Research*, 39(4), 349–366.
- Grundsteuer-Reformgesetz [Property Tax Reform Act], BGBl. I Nr. 48 (Ger.) (2019).
- Kok, N., Monkkonen, P., & Quigley, J. M. (2017). Land use regulations and the value of land and housing: An international comparison. *Regional Science and Urban Economics*, (65), 1–16.
- Korea Institute of Public Administration. (2023). *2023 Government Innovation Survey: Public trust in digital government services*. Seoul: KIPA.
- LeSage, J., & Pace, R. K. (2014). The biggest myth in spatial econometrics. *Econometrics*, 2(4), 217–249.
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2).
- OECD. (2022). *OECD framework for the classification of AI systems*. OECD Digital Economy Papers, No. 323. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/cb6d9eca-en>
- Oates, W. E., & Schwab, R. M. (1997). The impact of urban land taxation: The Pittsburgh experience. *National Tax Journal*, 50(1), 1–21.
- Pasquale, F. (2015). *The black box society: The secret algorithms that control money and information*. Harvard University Press.
- Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. London: Macmillan.
- Public Notice of Real Estate Values Act, Act No. 17017 (Republic of Korea, 2020).
- Ragin, C. C. (2008). *Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond*.

University of Chicago Press.

Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on Artificial Intelligence (AI Act), 2024 O.J. (L 1689) 1.

World Bank. (2023). *World Development Indicators*. Washington, DC: World Bank.

UN-Habitat. (2023). *World Cities Report 2023: Envisioning the Future of Cities*. UN-Habitat.

Yeung, K. (2018). *Algorithmic Regulation: A Critical Interrogation*. *Regulation & Governance*, 12(4), 505–523.

Youngman, J. (2016). *A good tax: Legal and policy issues for the property tax in the United States*. Lincoln Institute of Land Policy.

Zarsky, T. Z. (2016). The trouble with algorithmic decisions: An analytic road map. *Big Data & Society*, 3(2). <https://doi.org/10.1177/2053951716679679>

Appendix A. Cross-National Data Sources

Table A1. Data used for cross-national comparison (Estonia, Germany, South Korea)

Indicator	Unit	Year	Source	Description
Land tax revenue (% of GDP)	%	2021	OECD Tax Database	Share of land tax in GDP
Property tax efficiency index	0–1	2022	World Bank – Worldwide Tax Indicators	Efficiency of property tax administration
AI adoption in public sector index	0–100	2023	OECD AI Policy Observatory	Level of AI adoption in public administration
Urban density	persons/km ²	2022	UN-Habitat <i>World Cities Report 2023</i>	Proxy for spatial compactness
Governance transparency score	0–1	2022	World Bank Governance Indicators	Institutional transparency and accountability
Algorithmic Impact Assessment (AIA) coverage	%	2023	OECD AI Governance Framework	Share of public AI systems under AIA review

Appendix B. Replicability and Data Accessibility

All simulation data were synthetically generated with fixed random seeds (n=20 participants, 4 rounds).

Public datasets can be accessed at:

- **OECD Data:** <https://data.oecd.org>
- **World Bank Data:** <https://data.worldbank.org>
- **UN-Habitat:** <https://unhabitat.org>

Researchers can replicate findings using the parameters and indicators provided herein.

Complete Python scripts, SAR diagnostics, and the QCA comparative dataset are available upon request from the corresponding author.

Artificial Intelligence and Land Value Taxation: Algorithmic Externalities and Urban Spatial Effects

Hao-Ren Liu*

Abstract

This study employs economic experiments to investigate how artificial intelligence (AI), when introduced into the land value tax system, can reconfigure the dynamic balance between efficiency and fairness in urban fiscal management. The study combines experimental economics and cross-national comparisons to simulate the impact of AI-assisted land value taxation under conditions of “algorithmic externalities.” Using a random forest model with a spatial autoregressive (SAR) error structure, the study compares the differences between the traditional property tax (TPT) and the AI-based land value tax (A-LVT). The results show that the A-LVT increases tax efficiency by approximately 12% and urban density by 5.8%, while simultaneously widening income disparity and spatial bias among landowners. Cross-national analyses indicate that transparent governance and redistributive mechanisms can mitigate algorithmic externalities: Estonia’s open-data policy performs as the most efficient and equitable model, whereas Germany’s multi-level coordination system and Korea’s centralized approach exacerbate regional disparities. This study conceptualizes “algorithmic externality” as a mediating variable between AI efficiency and fiscal justice, and develops a three-tier governance model—“technical layer – institutional layer – social layer”—to illustrate the conditions for institutionalizing an AI-driven tax system. The study concludes that only through an

institutional framework grounded in law and citizen participation can the technical efficiency of AI be transformed into distributive justice in land policy.

Keywords: Land taxation, AI taxation, Algorithmic externalities, Spatial measurement economics, Urban density, AI regulation; Land use efficiency.

*Adjunct Assistant Professor, General Education Center, Feng Chia University.

The paper was published under two double-blind reviews.

Received: October 28, 2025. Accepted: November 5, 2025.