

# 都市發展理論之傳統與過渡

趨向生物有機增長的思考方式

## Tradition and Transition of Urban Development Theory

Toward A Thinking Mode Based on Organic Growth

黃仲由<sup>\*</sup> 賴世剛<sup>\*\*</sup>

Jhong-You Huang Shih-Kung Lai

### Abstract

Urban development theory is dominated by mechanization and reductionism, and has been studied in terms of traditional top-down control strategy and technical structure, which is far from real-world situations. Therefore, the nature of cities is neglected, and urban development issues are inadequately discussed. However, the nature of cities is important for explaining how cities work, and determining how they should develop appropriately. Therefore, this study analyzes the metaphors and analogies embedded in the major theories about urban development in order to identify theories that are based on real-world conditions. This study suggests that complexity sciences and organicism provide a better understanding than mechanization and reductionism. Achieving success with holistic and sustainable development for planning a city or an urban system requires profound knowledge of

---

\* 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系博士候選人，通訊作者 (e-mail: jhongyouhuang@gmail.com)  
Ph.D. Candidate, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University,  
Corresponding Author.

\*\* 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系特聘教授  
Distinguished Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei  
University.

the complex growth potential of different facets of modern urban systems. Additionally, urban development plans and decisions need to be guided by the allometric nature of the spontaneous emergence of cities.

**Keywords:** urban development, urban growth, complexity sciences, organicism, reductionism.

## 摘要

受早期機械化世界觀與還原論思維所支配，過去一般探討都市發展或都市演變的研究，多數集中強調自上而下控制刻劃的傳統策略和遠離真實世界狀況的技術結構，從而輕忽都市發展的本質，並缺乏對本質層次的論證或對話。但這些在過去研究中被忽略的本質和對話，卻是解釋都市究竟是如何運作以及判斷都市該如何發展的重要基礎。本研究擬針對各種隱喻或類比都市發展的主流觀點，或是理解都市演變過程的數個主要取徑，提出一整合性之本質論證與比較，藉以探求更為完善且貼近真實世界狀況的思考方式，並彌補過去在詮釋都市發展及都市增長上可能的不足—特別是系統論、複雜科學 (complexity sciences) 與都市科學興起後所引發的根本性轉變。本研究認為，生物有機觀點 (organicism) 及生物有機增長的思考方式實現了機械化世界觀與還原論思維 (reductionism) 所無法提供的深刻洞察，而假若我們期望成功地以整體的與永續的發展概念去規劃一個都市甚至是整個都市體系，則未來應嘗試掌握現代都市體系複雜的及不同構面的增長潛能，認清都市自發形成的異速生長本質，並依此原生屬性來引導及評估都市發展計畫與決策。

**關鍵字：**都市發展、都市增長、複雜科學、有機體論、還原論

## 前言

綜觀歷史進程，始終存在許多對於都市的概念與想法，並隨時間推移正逐漸演化 (Mumford 1961; Kostof 1991; Morris 1994)。各時期對都市「是如何形成」、「會如何演變」或「應如何發展」的理解與詮釋，不僅深刻地影響當時「看待都市的方式」和「規劃都市的方法」，更致使有關都市發展 (urban development) 或都市增長 (urban growth) 之理論依據因而不斷地積累與擴張。既有文獻對於最早期之文明、國家乃至於都市之探索，事實上常圍繞著宗教神權、政治系統與半自治的社會團體，並傾向將都市文明簡化為一系列關於創建都市雛形和構造巨大公共建築的英勇領袖征戰比鄰、攫取權力和統治菁英群的主題或神話 (Yoffee and Cowgill 1988; Van de Mieroop 1997; Yoffee 2005)。而最初自然形成的都市，其運行發展及被理解的角度，則大多貫注在以國王、神祇、社會階級與各種職業角色為核心的思想議題 (Mumford 1961; Pirenne 1969; Gates 2003; Pounds 2005)。除可作為上述宗教神權與人的權力結構結合後的繁衍基礎之外，最初自然形成的都市同時亦肩負防禦的功能（例如：防禦工事和城堡）或

是滿足極權專制時期的王室想望 (Lynch 1981; Marshall 1989; Lepage 2002)。

歷經漫長的中世紀，隨封建主義 (Feudalism) 的終結、資產階級的興起，以及藉著現代哲學與科學體系創建者的相繼貢獻—Galileo Galilei (1564-1642)、Francis Bacon (1561-1626)、Johannes Kepler (1571-1630)、Rene Descartes (1596-1650)、Blaise Pascal (1623-1662)、Isaac Newton (1643-1727)，都市發展進程逐步邁入人類歷史上第二次的重大轉變—工業資本主義 (Clark 1982; Morris 1994; Frankenberg 2008)。該時期之文明發展，主要得益於早期的機械哲學 (Mechanistic Philosophy) 或還原論 (Reductionism) 之影響，使得過往對於自然或都市的想像 (例如：萬物有靈論) 或遭宗教威權壓抑僵固的思想逐漸褪色式微，並遭機械化的世界觀所取而代之 (Kline 1990; Shapin 1996; Mayr 1997)。主宰十七世紀科學發展的笛卡兒 (Rene Descartes) 即當時機械哲學最為重要的代表人物之一 (Kline 1990; Devlin 1996)，其所認知的世界為一大型且擁有和諧設計的數學機器存在於時間與空間之中 (a huge, harmoniously designed mathematical machine existing in space and time)，並認為：(一) 可藉由力學定律解釋生命 (包括人和動物)、(二) 所有的現象皆服從不變的數學定理、(三) 萬物皆可透過數學形式來描述 (但不包括上帝與靈魂)。除了宗教教會激烈排拒這樣的思考與解釋方式，笛卡兒哲學 (Cartesian Philosophy) 與笛卡兒科學 (Cartesian Science) 對十七世紀 (與其之後) 的「科學」與「非科學」領域均造成廣泛的影響且非常地盛行。

在此時空背景的推波助瀾之下，將都市視為「萬物機械觀」中的一種大型機器的看法於是自然地被釋放。人們開始認同都市是類似於許多相異的、功能分離的小部分零組件 (例如：交通工程、建物設施、不同的土地使用等)，經由完善地連結和累加而成的整體 (此看法仍部分延續至今，相關討論見 Mumford 1961; Lynch 1981; Hall 1988; Morris 1994; Ball 2012)。此一理論概念同時亦直接地影響後續許多都市城鎮的規劃與設計方式，典型如歐洲建築師 Le Corbusier 所提倡的光輝城市或是美國無數的方格型城鎮 (詳見 McMichael and Bingham 1923; Fishman 1977)。

相對於萬物機械觀中過度簡化與過度單純的機器類比，將都市比擬為生物有機體 (organisms) 的概念起源並不久遠，它與十八及十九世紀興起的現代生物學和生命科學息息相關，但卻遲遲等到約二十世紀才在都市發展領域得到著名者如 Patrick Geddes 與其繼承者 Lewis Mumford 等人的拓展 (Lynch 1981; Kostof 1991)。生物有機體的類比在發展初期事實上幾乎未造成任何迴響或共鳴，直至第二次世界大戰之後，因其融合了當時迅速逆發的科學發展思想，才逐漸落實為一重要的理論和觀點，而 Warren Weaver 與 Jane Jacobs 即為該理論分支最為關鍵的創始人與整合者 (詳見 Weaver 1948; Jacobs 1961; Simon 1998)。以科學發展的歷程為基礎，Weaver (1948) 將涉及其中的科學問題的類型區分為三種：簡單問題、無組織的複雜問題、有組織的複雜問題。所謂簡單問題，即兩個變數的問題，有著簡單關係，可忽略其他因素的輕微影響，十七至十九世紀的古典物理、線性數學和絕對決定論 (strict determinism) 皆是處理簡單問題。無組織的複雜問題，即假定大量變數皆為均質 (homogenous) 且彼此之間並無關聯，雖個別變數或個體是未知的模式或狀態，但整個系統或系統狀態卻能開展出特定秩序或特性。而有組織的複雜問題，則是須面對和處理諸多可能同時發生變動的異質 (heterogeneous) 變數，但是彼此之間並非無意義地或毫無規則地任意碰撞或產生聯結—它們是「互相關聯成為一個有機的整體」 (Jacobs 1961; Batty and Longley 1994)。隨後，Jacobs (1961) 便沿襲同樣的概念和結構，自科學發展的歷程反思「都市問題的本質」，在眾多相關發展理論中，首先提倡都市固有的本質應為有組織

的複雜性 (organized complexity)，並歸類都市問題為有組織的複雜問題。Jane Jacobs 認為當時出現諸多有意識地或無意識地仿效物理科學的規劃手段或方法，皆是因為都市規劃者或理論家誤將都市當成「簡單系統」或「無組織的複雜系統」，而把都市問題當成是「簡單問題」或「無組織的複雜問題」。

除上述萬物機械觀以及融合科學發展思想的生物有機觀點之外，近一個多世紀以來，對於都市本質的理解或都市發展現象的科學研究，還包括兩個主流取徑 (approach)－傳統經濟學觀點與複雜科學觀點。其中，傳統經濟學觀點牽涉或涵蓋了產業區位理論、都市經濟學或區域經濟學等泛經濟學分支 (如 Fischer and Nijkamp 2013)，其係指應用經濟原理及個體經濟學之觀點假設和研究分析方法，作為探討都市現象和都市空間型態的解釋基礎，而該取徑之理論與模型建構，旨在於增進對都市發展中的經濟活動與其所引發的空間結構或型態，為何 (why) 於某區位 (where) 形成與如何 (how) 形成之理解—著名典型包括 Von Thünen (1826) 之農業區位論、Weber (1929) 之工業區位論、Christaller (1933) 之中地理論、Lösch (1954) 之經濟地景論及 Alonso (1964) 競租理論等。

繼之，自二十世紀末複雜科學 (complexity sciences) 興起 (Waldrop 1992; Cowan 1994; Kauffman 1995)，以複雜科學為發展基礎的都市發展理論則試圖跳脫傳統思維（線性、對稱、可還原、靜態均衡的世界觀），進而依循著複雜性概念（突現、非線性、動態遠離均衡的世界觀），將都市視為由下而上演化發展、無中央控制單位且具備自我組織 (self-organization) 等行為特性的複雜系統 (complex systems)，並利用以個體為主 (agent-based) 的分析方式，探討都市發展於不同層次間的突現狀況（包含巨觀和微觀層面），以及都市個體或作用體（包含組件和元素）究竟是如何由下而上互動及組織成整體型態的變遷過程 (Anderson 2001; Wolfram 2002; Batty 2005a; Briassoulis 2008; 賴世剛、韓昊英、吳次芳 2009; Hoekstra, Kroc, and Sloot 2010)。

故總的來說，所謂「都市發展理論」係指為了增進對都市發展是如何發生、都市空間型態是如何演變以及都市是如何運作的理解與詮釋，而長期聚焦於研究都市發展現象和都市發展過程所逐漸累積形成的理論典範—這樣的理論典範主要是為解釋和辨析：「為何會有都市的存在？其本質為何？」、「都市是如何產生？一旦產生將如何演變？」、「都市可發揮什麼樣的作用？應具備哪些功能？」、「為何部分聚落持續增長為巨大都市而部分聚落最終卻殞落消失？」等種種我們從過去至今所關切的問題 (Lösch 1954; Mumford 1961; Lynch 1981; Clark 1982; Fujita, Krugman, and Venables 1999; Pounds 2005) 和長久以來持續尋求的答案。

若再由都市科學 (the science of cities) (如 Hopkins 2001; Ball 2012; Batty 2012; Portugali et al. 2012; Lai, Han, and Ko 2013; Samet 2013; Lai and Han 2014) 所囊括的四個象限來看（請參照表 1），則本文所關注的「都市發展理論」，其扮演的角色及定位應較傾向於「第 II 象限：都市是如何運作」與「第 III 象限：都市應如何發展」的研究範疇，並與 Lynch (1981) 所定義之功能論 (functional theory) 相對接近。其中，關於「都市是如何運作」的研究範疇即對都市現象的解釋，係指側重於探究都市發展的本質，意圖了解都市是由哪些行動主體 (who) 或元素 (what) 所構成—將會在何處 (where) 與在何時 (when) 發展成某種都市空間結構或都市型態，以及這樣的整體型態和結構是如何 (how) 自各個個體、組件、次系統、階層或組織之間的局部行動或交互作用所產生。而關於「都市應如何發展」的研究範疇即對都市現象的論證或辯解，係指側重於判斷都市究竟應具備什麼樣的價值特性 (Mumford 1961; Jacobs 1961; Alexander, Ishikawa, and Silverstein 1977)，以及確認都市該朝向什麼樣的狀態展開而

產生的發展理論。由正向增進 (bright side) 的角度視之，過去傳統上曾以永續性、適宜性、高效能、高資源生產率作為長期的努力方向 (Lynch 1981; Hargroves and Smith 2005; Newman, Beatley, and Boyer 2009)；由負向減緩 (dark side) 的角度視之，地價昂貴、犯罪事件叢生、貧民窟林立、小自用住宅短缺等普遍的都市病症之數量多寡與規模大小 (Bettencourt et al. 2007; Huang and Lai 2012)，或許皆可作為評估都市是否呈現良好發展的準則及指標。

表 1 都市科學 - 四個研究範疇之概念劃分

Table 1. The science of cities - research categories in four quadrants.

研究範疇	都市現象	計劃現象
解釋	都市是如何運作 象限 II	都市發展計畫與決策是如何被制定及使用 象限 I
論證	都市應如何發展 象限 III	都市發展計畫與決策應如何被制定及使用 象限 IV

然受到早期機械化世界觀與還原論思維所支配，過去一般探討都市發展的研究，多數過度偏重自上而下控制都市、刻劃都市的傳統策略和遠離現實的、完美假定下的技術結構，從而輕忽都市發展的本質，並缺乏對本質層次的論證或對話。但這些在過去研究中常被有意或無意忽略的本質和對話（如 Jacobs 1961; Mumford 1961; Alexander 1965; Lynch 1981; Batty 1995），不僅攸關能否適當地反映出都市型態演變的趨勢，更關鍵地，它同時也是「解釋都市究竟是如何運作」與「判斷都市應該如何發展」的重要基礎（請參照表 1）。

爰本研究擬針對各種隱喻或類比都市發展現象的視角，或是理解都市演變過程 (drama) 的數個主要取徑，提出一整合性之本質論證與比較，藉以探求更為完善且貼近真實世界狀況的思考方式，彌補過去在詮釋都市發展或都市增長方面可能的不足—特別是系統論、複雜科學與都市科學興起後（如 Bertalanffy 1968; Batty 1976; Waldrop 1992; Holland 1998; Colander 2000; Hopkins 2001; Wolfram 2002; Pumain 2006; Portugali et al. 2012; Lai and Han 2014）所連帶引發的根本性轉變。

據此，全文整體架構包括第一部分之前言，共計由七個部分所組成。作者在第二部分，將討論緊接在工業革命後發展，深受機械形式、物理規劃概念與幾何圖形解構（例如：餅狀扇形、圓能環狀）所影響的古典都市理論—產業區位觀點與都市人文生態觀點；第三部分則將深入探討關於傳統經濟思維及其研究分析方法所呈現的都市發展本質，在近代演進過程中所面臨的各種假設爭議與挑戰（例如：遞減報酬、負回饋效應、預先假定必趨於均衡的世界觀）；第四部分則分別針對以複雜科學與傳統經濟思維為基礎之都市發展理論，就其概念和本質層次上的差異進行論證和比較（例如：同質個體或異質個體的假定、完全理性或有限理性的決策模式）；第五部分則聚焦探討生物有機觀點在早期都市發展理論演進過程中，與萬物機械觀 (the classical concept of mechanism) 的對抗與分歧，以及融合了科學發展思想後在其理論層面以及方法層面的重大進展；第六部分則延續第五部分之脈絡鋪陳，藉由最近期之科學新發現—關於都市增長時所突現之異速生長規律 (allometric scaling law)，併以解釋我們正處於「將都市視為機器 (machines)」轉變為「將都市視為有機體 (organisms)」的過渡時期；最後，第七部

分則將透過前揭之對話與論證，對現今都市規劃的思潮及其詮釋方式提出總結、補充及未來政策建議。

## 古典都市理論－產業區位觀點與都市人文生態觀點

早期之區位理論普遍假設於一個各向同性的平原 (isotropic plain) 或直線段 (linear segment) (如 Von Thünen 1826; Hotelling 1929; Weber 1929)，即意味著所討論的區域上各不同處的差別僅在於距離，至於商品或產業非均勻分布與交通可及性差異等眾多異質條件狀況則遭簡化忽略 (詳見 Anas, Arnott, and Small 1998; Barnes et al. 2008)。當中，於十九世紀和二十世紀初期相對受忽視之 Johann Heinrich Von Thünen 之《農業區位論》(*The Isolated State*)，因刊行時間更優先於 Alfred Weber 之《工業區位論》(*Manufacturing Industry with the Economic System*) 約一個世紀，而普遍被後續研究者視為現代區位理論之創始者 (Isard 1956; Frambach 2012)，而其創始之單中心經濟模型 (mono-centric economy model) 對爾後發展的相關理論分支的研究著作及代表人物 (例如：Alfred Weber、August Lösch、Walter Isard、William Alonso) 皆起著莫大的影響 (Samuelson 1983)。Von Thünen 最大創見在於首先使用利潤動機 (profit motive) 表現農業經濟集聚 (即農作行為、農地利用方式與農產品之集約程度)，以及藉由圖能圈 (Thünen rings) 系統地闡述農業區位分布具有其自發特性—即自發形成的同心圓狀態 (詳見 Alonso 1964; Fujita, Krugman, and Venables 1999)。

August Lösch 是繼 Von Thünen 之後該領域最為關鍵的研究者之一。Lösch 當時最大貢獻在於整合既有之研究成果，並修正部分不符現實條件或狀況的考量。譬如其中最重要的貢獻之一，Lösch 試圖修正 Alfred Weber 所創立之成本極小化原則：(一) 運輸費用導向論、(二) 勞力費用導向論、(三) 集聚導向論 (詳見 Weber 1929)。Lösch 認為，影響個別企業區位最終和唯一的決定因素應是損益結果－純利 (net profit) (成本與收入的平衡結果)，因此，正確區位選擇應在純利最大處而非一味地追求或受限於成本極小原則 (詳見 Lösch 1954)。除建立純利最大化區位論之外，Lösch 在其研究著作中亦曾引入極大化個體和企業體效用之概念 (Lösch 1954: 17)，並利用代數和幾何圖像抽象化呈現 Von Thünen 之農業區位理論 (Lösch 1954: 36)，為當時期最深入且最具代表性的相關研究。

進入二十世紀中葉，沉寂多時之圖能模式經 William Alonso 的復興再獲重生。Alonso (1964) 以通勤者取代原始模式中的農民、以中央商務區 (CBD) 取代原始模式中的孤立城鎮，重新詮釋圖能模式。此單中心都市模型 (monocentric city model) 再度產生土地使用的同心環狀態 (concentric rings of land use)，而該模型直至今日仍然是廣泛理論與實證文獻的基礎 (Fujita, Krugman, and Venables 1999)。圖能模式 (Thünen rings) 之集大成者 Masahisa Fujita 認為，Von Thünen 一生的研究貢獻不僅影響深遠，且其概念早已預先考慮或涵蓋後續眾多理論支線之發展：(一) 產業集聚理論 (The Marshall-Weber theory of industrial agglomeration)、(二) 中地理論 (The Christaller-Lösch theory of central place system)、(三) 新經濟地理 (New Economic Geography, NEG) (Fujita 2012)。

在將近兩個世紀後的今日回顧，我們可發現圖能模式及其眾多追隨者可能過度偏重非現實的假設條件之外 (例如：均勻的交通可及性、均勻的生產成本、均勻的生產力、需求彈性無限大)，亦忽視重要交通樞紐 (例如：港口、運河) 所產生的空間集聚，同時也未能充分考量通訊或運輸科技變遷所引起的連鎖變化 (如 Hargroves and Smith 2005)—特別是當都市增長時，土地利用和人口的遷移常沿著電

車放射狀路線涵蓋的可及範圍、高速公路的節點或快速道路路線進行組織或擴張（詳細回顧見 Anas, Arnott, and Small 1998），使得理想的圖能環狀幾乎無法實現。但圖能模式若加入運輸網絡支線所衍生的觸角 (finger) 區域後，則近似於 Kevin Lynch 所撰之《Good City Form》一書中提出的星形城市 (urban star) 的發展概念，亦類似於 Michael Batty 與 Paul Longley 所合撰之《Fractal Cities: A Geometry of Form and Function》一書中表述之有機生長的自然都市型態，而持續延伸的觸角區域有時甚至可直接聯結另一個都會的中心 (Lynch 1981; Batty and Longley 1994; Frey 1999)。

相對於產業區位理論，接續其後發展的都市生態學派則較不傾向於排除若干複雜因素後，建立完美情境上的推論或演繹，而更普遍地是利用當時各大城鎮實際狀況之趨勢與歸納通則，描述或解釋都市型態及都市成長模式（詳見 Bourne 1971; Gottdiener and Hutchison 2011）。其中最經典者，依發展先後分別為：同心環模式 (concentric zone model) (Burgess 1925)、扇形模式 (sector model) (Hoyt 1939)、多核心模式 (multiple nuclei model) (Harris and Ullman 1945)。同心環模式（即住宅區位論）旨在表達當都市成長時，將會自其中心處呈放射狀向外擴張，在忽略都市細部 (details) 的前提下（譬如作者 Ernest Burgess 所觀察研究之美國芝加哥市），把都市的內部結構表現為由內而外且依序構成的一系列同心環區域 (successive zones) — 第一環：中央商務區、第二環：過渡區、第三環：工人居住區、第四環：較佳的住宅區域、第五環：通勤區。同心環模式為一理想狀態下的構造，藉由圓形的幾何特性，設定圓形內任一點與中央商務區的距離為一定值（區間），以此定值（區間）為半徑可劃出一閉合的圓（環），而所劃出之「同心圓」或「環帶」範圍內的土地利用模式皆相同。因此，同心環模式所認知的土地利用趨勢是隨距離而改變，而無方向上的差異（與距離有關而與方向無關）（詳見 Burgess 1925; Harris and Ullman 1945; Nelson 1971）。

隨後由 Homer Hoyt 所發展的扇形模式，則可視為同心圓模式的進階模式或修訂版本。Hoyt 認為各種品質的住宅鄰域 (residential neighborhoods) 之間分配，既不是隨機分布亦無法構成多環狀形式的同心圓。譬如 Hoyt 的研究中顯示，都市中的高租金區趨向坐落於一個或數個餅狀扇形 (pie-shaped sector) 的地帶，且該地帶既無法圍繞整個都市範圍更無法構成環狀 (Hoyt 1939: 114; Nelson 1971)。在 Hoyt 的實證研究中，亦曾利用動態地圖 (dynamic maps) 的方式，演示說明美國的六大都市之最佳居住鄰域，實際上是隨時間的改變而發生位移（例如作者 Homer Hoyt 所觀察的時間點：1900 年、1915 年、1936 年），並非永恆不變的單調規則分布（詳見 Hoyt 1939: p. 115 圖形彙整）。

同心圓模式及扇形模式的運行機制均強調圍繞單一中心發展，但 Harris and Ullman (1945) 所提出的都市土地利用模式，其運行機制卻是圍繞於數個離散核心 (discrete nuclei)。而這些離散核心的崛起，則常伴隨以下四種因素：(一) 特定的活動所需求的特殊設備（例如：工業區需求較大面積的土地與便捷的運輸設施）、(二) 特定活動因聚集而產生效益（例如：工業城鎮的群聚）、(三) 若干土地利用模式是相互排斥或相互不利的（例如：高級住宅區發展與工廠廠房的擴增）、(四) 某些活動無力支付最需求位址的高地租（例如：批發與儲存活動需要大量的空間和廠房）(Harris and Ullman 1945: 14-5)。Chauncy Harris 和 Edward Ullman 的多核心論大致包含了扇型論與同心圓論的重要意涵，即以不規則的圖形包圍原中央商務區來呈現。間斷且不規則圖形的特性，則隱含說明隨方向的不同則會有不同的土地利用型態，且土地利用型態隨距離的不同則可能產生改變，也有可能維持不變再繼續向外延伸至外圍新的商務區。

總括而言，產業區位觀點與都市人文生態模式最大的共通處在於其理論內涵均屬於間斷的、封閉形式的描寫甚至是簡單情境上的構想，不涉及任何的動態特徵或連續演化過程，僅能表現出極少數都市類型的發展變化，其中，藉由幾何圖形、幾何特性或諸多功能分離的塊狀 (block) 組合來表現都市發展本質的概念和手法，應皆源自於工業革命後所帶動的機械化世界觀。另一方面，因經典牛頓力學與還原論思維之連帶影響，當時的地理學家、經濟學家或都市生態學家 (著名者如: Johann Heinrich von Thünen、Wilhelm Launhardt、Alfred Weber、Ernest Burgess、Harold Hotelling、Walter Christaller、Homer Hoyt、August Lösch、Chauncy Harris、Edward Ullman、Walter Isard、William Alonso)，亦大多致力將空間概念嵌入原先未含有空間概念的經濟模型或統計歸納中，並使用歐幾里得距離、經濟考量與物理類比作為住居或產業模式的表徵和成因解釋 (相關討論見 Bourne 1971; Barnes et al. 2008; Portugali 2011)。因此，諸多機械形式、幾何圖形解構 (例如：圓形、扇形、三角形、六邊形) 與物理規劃概念，便在整個十九世紀主導著人們「看待都市的方式」和「規劃都市的方法」，而在此時期內，人們仍舊視都市為無序 (disorder) 和混沌 (chaos) 之體現，需通過實行理想化的幾何計畫控制方能改善都市環境 (Batty 2008a; 2008b)。

## 都市發展理論－傳統經濟觀點之演進與爭議

過去有關都市發展的理論研究，常藉由經濟學的理論架構及其分析工具展開探索，也因此造就長久以來傳統的都市發展理論，便多從經濟學的角度和思維來看待都市發展現象。該類型的都市發展理論可追溯超過一個世紀以上的歷史，諸如產業區位理論或都市經濟學等泛經濟學分支皆隸屬於其中的一環，其係以經濟原理及個體經濟理論 (例如：個人效用最大化、廠商純利最大化、廠商成本最小化) 為基礎，對單一都市裡的經濟行為、產業活動與空間組織進行最適效用和最適利益的配置，或者求取其最優化決策 (如 Von Thünen 1826; Lösch 1954; Isard 1956; Moses 1958; Alonso 1964; Muth 1969; Mills 1972; Samuelson 1983)。

但值得深入討論的是，在傳統經濟學理論及其分析方法中有很大的部分是基於幾項取代任何經驗觀察且可能嚴重脫離現實的前提和假設，譬如：遞減報酬 (decreasing returns)、完全競爭 (perfect competition)、理性預期 (rational expectation) 等 (詳見 Simon 1986; Fujita and Thisse 2002; Marcuzzo 2003; Walker 2003; Eckel 2004; Colander 2005; 汪禮國、賴世剛 2008)。若以經濟分析工具 (或方法) 建構模型時，這些基本假設對於能否順利地求取出均衡解 (最適均衡狀態) 常扮演關鍵性的角色，因其所追求的目標是：究竟可否有效地簡化諸多數理技術不易描述或處理的現實條件或狀況，進而獲取最終的解析解 (analytical solutions) (Arthur 2000; Faggini and Lux 2009)。若從遞減報酬的假設條件來看，其係指當投入的某種要素越多，則增加的產出就會越少 (愈無利可圖)，如此一來將促使經濟體系逐漸趨向收斂、穩定與平衡狀態，並且可避免出現發散或振盪值。而上述遞減報酬 (decreasing returns) 及負回饋效應 (negative feedback) 之設定，同時亦說明了傳統經濟理論企圖將經濟體系以及都市系統塑造成「收斂、穩定和唯一均衡狀態」的完美世界觀。

若再以一般均衡分析為例，事實上，真實世界的運行在絕大部分的情況下乃是處於對初始值或初始條件敏感的混沌 (chaotic) 或紊亂 (turbulent) 狀態 (Colander 2000; Portugali 2000; Mainzer 2007;

Buchanan 2009; Wilson 2012), 而無力維持或者自行收斂至完美均衡，且系統之運作往往是表現出持續不間斷地動態演化，亦並非停滯於特定少數的、平穩的或唯一的靜態均衡點 (Farmer and Foley 2009; Arthur 2015)。倘侷限在本文所關注的都市發展領域，近年來諸多學派或學者 (如 Hopkins 2001; 賴世剛 2006; Hoch 2007; 賴世剛、王昱智、韓昊英 2012) 同樣強調都市和都市空間的演變，因其具備四種獨特性質：(一) 相關性 (interdependence)、(二) 不可分割性 (indivisibility)、(三) 不可逆性 (irreversibility)、(四) 不完全的預見 (imperfect foresight)，使得在傳統經濟理論中普遍可逆且調整過程無需任何成本的一般均衡概念和分析程序，實際上無法適用於永遠處在變動且每次調整或行動皆附帶重大成本的複雜都市系統 (complex urban systems)。

此外，傳統經濟觀點下的完美世界觀與真實世界普遍存在的遞增報酬 (increasing returns) 與正回饋效應 (positive feedback) 相互牴觸之情形，近數十年來已逐漸被察覺和接受 (如 Arthur 1990; Durlauf 1998; Anderson 1999; Kline 2001; Mainzer 2005; Lai and Han 2014)。其中，最關鍵者應屬著名經濟學家 Brian Arthur 在美國頂尖期刊《Science》之複雜系統專刊中，以「複雜性與經濟」(Complexity and the Economy) 為題，進一步將遞增報酬理論帶入經濟學，用以說明許多產業於競爭過程中所產生的遞增報酬 (increasing returns)、區域鎖定效果 (regional lock-in effect) 及路徑相依 (path dependent) 的非線性過程 (Arthur 1999, 2000)。在此所謂的「遞增報酬」，為一自我再增強的機制，例如在產業經濟上時常發生的規模經濟、協同效果等，若以區位及空間競爭的角度而言，則其與經濟理論的「聚集經濟」有異曲同工之妙，但聚集經濟的現象單指發生在空間上的規模再放大和吸引效果，而遞增報酬理論則並不侷限於空間尺度的探討 (于如陵、賴世剛 2001)。若以黑白球實驗為例來解釋 (賴世剛 2006；柯博晟 2009)，則是指將兩種顏色 (黑與白) 的色球各一粒放入袋中，再隨機從袋中一次抽取一球，每次抽完後將抽出的球再放回袋中，並視所抽到球的顏色再增加一粒同色球進袋。如此重複進行動作下去，則某種特定色球將由於過程中不斷地被抽取，使其數量不斷增加，同時也會使其下一次再被抽取到的機率因而提升。當超過某個規模門檻值 (threshold value) 後，便會形成鎖定效果 (lock-in effect)，而最終該特定色球將形成獨大的狀態。Arthur (1997)、賴世剛、陳增隆 (2002) 等相關研究，便是應用遞增報酬理論來探討、模擬或檢驗廠商在都市空間的競爭與聚集之鎖定過程。

其次，所謂完全競爭的假設，則是一種經濟學中可能過度理想化的市場狀態 (Keen 2003; Bouchaud 2008) — 當市場處在完全競爭的狀態時，產品不具有異質性，且市場中的行為者於決策時不僅擁有完全信息與知能，同時也具備自由進出市場的能力，而在新古典區位理論裡，即隱含了此一重要前提。但就真實世界的情形視之，在絕大部分的情況下，新廠商要進入市場時則需承擔交易成本，並非當新廠商認為有利益可圖時便可自由地或無限制地加入市場。且進入市場的門檻高低不同，則又取決於其他廠商的市場力量、資金投入多寡、產業集聚程度、區域產業結構的型態與國家產業發展政策等內在和外在因素所牽動 (黃仲由 2007; Briassoulis 2008; Samet 2013)。若關係到歷史發展的路徑相依過程或遞增報酬最終所形成的鎖定效果，同樣可能令廠商能自由進出的能力受到限制 (相關討論與電腦模擬見 Lai 2006b)。因此，隨著廠商或決策者的價值、功能、產業別、駐居點的歷史條件及所面對的經濟和社會結構各異，將會使完全競爭、穩定報酬與完全信息等重要前提和假設之適用性降低，進而影響到其所獲得的最適化及資源配置結果之合理性 (Allen 1997; 柯博晟 2009; Samet 2013)。

除了前述基本假設之爭議外，關於傳統都市經濟理論的模型化，還包括了作用體的選擇以及關鍵

影響變數的選擇等問題 (Jacobs 1961)。首先，在作用體的選擇上，傳統都市經濟理論及其方法並無意處理「所有的」或「大部分的」作用體，也極少顧慮到全部參與者的各個局部決定 (local decision-making) 所共組的聯合決策 (combined decisions)，其理論和方法往往僅傾向考慮「最重要的」作用體及其決策，而這些作用體通常被設計為擁有完全資訊或全知全能的行為人 (omniscience) 或機構 (institutions)，同時其行為表現則大多被簡化為依循簡單物理規則 (例如：局部磁場的牽引) 且無自主意識和自主行為的機械反應 (Arthur 1999; Kirchgässner 2008; Briassoulis 2008)。而如此單純與簡化的設定不但嚴重地與現實脫鉤，亦很可能忽略甚至扭曲某些作用體與其附屬行為對於都市發展過程和土地使用變遷之影響關係 (Bibby and Shepherd 2000; Bouchaud 2008)。再者，誘發或促進都市發展的「政府行為」或「新加入的參與者的行動」等關鍵影響變數，亦常面臨被漠視的情形，如此一來將可能導致模式中所考慮的變數和行為者，往往都只是欲探討問題中的一小部分而已 (如 Batty and Torrens 2005; Lai 2006a; Briassoulis 2008)。

前述關於模型化過程中，將系統行為直接類比為依循簡單物理規則的機械反應之方式，對於少部分的自然系統或許是成立的 (例如：天文觀測) — 因其對於初始條件並不具備敏感依賴性 (sensitive dependence)，但對於更大量的目前已知的自然系統而言 (例如：颶風、湍流、生物組織)，其系統狀態則是混沌的，則是對初始條件敏感的，非常容易因為些微的噪聲或干擾，就造成無法預料的最終結果 (如 Bak 1996; Simon 1998; Mitchell 2009) — 特別是走在混沌與秩序邊緣且具備自我組織臨界性 (self-organized criticality) 的複雜都市系統 (complex urban systems) (Batty and Xie 1999; Portugali 2000; 賴世剛、高宏軒 2001; Batty 2005a; 賴世剛 2006)。Hopkins (2001) 亦認為，儘管都市是一種由人類的各種活動所堆砌而成的自然複雜系統，但卻又有別於其它自然界的複雜系統，因為它具有：(一) 相關性：都市開發之決策為相互影響、(二) 不可分割性：開發之增量不可能是任意的、(三) 不可逆性：開發完成後 (即採取行動後) 便極難回復原貌、(四) 不完全的預見：即對未來仍舊存在不確定性等四種固有性質。因此複雜都市系統乃永遠處於一動態過程，任何人均無法駕馭整體都市之發展，而人們 (包括規劃者或規劃單位) 僅能從都市看似混亂複雜的發展過程中，嘗試尋求機會和解決方案 (Lai 2006a; Han and Lai 2011)。

綜合前述因素，使得近代的傳統經濟典範或傳統都市經濟典範所呈現的都市發展本質，成為一個時間不連貫的、片段刻劃的與線性的發展過程，且對於都市、區域或社會空間系統仍不脫離靜態的與單一均衡狀態 (cities-in-equilibrium) 的描寫，即不具有隨時間演進所形成的整體系統環境，亦不具備個體行為上的動態變化及調整。而其觀點下之系統行為則常被直接類比為系統組件處在均衡狀態時的相互作用，至於系統組件亦往往遭簡化為供給與需求中較具代表性的與較具影響力的少數作用體。儘管諾貝爾經濟學獎得主 Paul 在二十世紀末所提出的新經濟地理 (NEG) (Krugman 1991)，就已經開始強調遞增報酬的基本假設，並試圖藉由 Dixit and Stiglitz (1977) 之壟斷競爭模型 (monopolistic competition model)，設法將「不完全競爭市場結構」模型化 (Fujita, Krugman, and Venables 1999; Fujita 2010, 2012)。但即便如此，在傳統經濟典範或是傳統都市經濟典範中所採用的分析方式或關鍵概念，依舊有絕大程度是構築在平衡穩定、遞減報酬以及預先給定的均衡狀態 (predetermined equilibrium state) 等強烈假設之上。

## 都市發展理論—複雜科學觀點與傳統經濟觀點之比較

複雜科學、複雜系統或複雜性概念的開端，最早可追溯自 Ludwig Von Bertalanffy 於 1928 年在維也納 (Vienna) 完成其有關於生物有機體系統的敘述性畢業論文—它除了標誌著一般系統論 ( general systems theory, GST) 的問世，亦同時喚醒現代科學對複雜性 (complexity) 的研究興趣 (Cowan 1994)。其中，企圖描述所有系統的一般系統論，因缺乏實質的科學成果隨即式微 (Simon 1999)，而最初建構在一般系統論上發展的複雜科學或複雜系統論，則藉由爾後持續地研究熱潮與諸多科學家的原創貢獻 (例如：Alan Turing; Norbert Wiener)，使得接續其後發展的研究者逐漸有能力利用複雜性概念及各種概念開發工具 (例如：Turing Machine; Cellular Automata) 從不同角度貼近、模擬和再造現實世界中的複雜現象。

而以複雜科學為基礎之都市發展理論，便係將都市視為一複雜系統，並認為都市與都市發展的本質正如同其他自然界的複雜系統一般，必然具備下列三大顯著特性：(一) 非線性動態 (nonlinear dynamics)：系統中的小事件在適當的條件下可能會令系統變得無法控制或難以預測，也就是說數量龐大的單一行動者或小型的都市代理人，其局部互動或行為對都市所造成的影響往往會比大型的或較高層次的都市代理人 (例如：都市規劃團隊或組織) 來得更加劇烈明顯 (如汪禮國、賴世剛 2008; Portugali 2011)。(二) 突現 (emergence)：都市中單一的或者小型的行動者之間的局部互動，時常可引發都市整體規模中才會存在的特性—譬如都市中的「族裔隔離」的現象，並不等同部分的個體的都市行為人的高度的隔離行為 (如 Anderson 1972; Holland 1995; Batty 2000; Portugali 2011)。(三) 整體與局部的互動 (global-local interactions)：上述突現的觀點，同時也意味著複雜系統或自我組織系統中較高層次結構所顯現出的秩序與形式並無法與較低層次之組成份子的個別行為或特徵相仿。換言之，在局部角度下，局部之間的互動將形成整體組織和型態，而在整體的視角下，這樣的整體結構也可能影響局部行為，進而衍生新的屬性或互動關係 (如 Lai 2006a; 賴世剛、王昱智、韓昊英 2012)。

承上，其中所謂的「自我組織」及「突現」之概念，則與 Jacobs (1961) 所描述的都市發展現象有諸多相互呼應之處—「都市街道與公共場合讓許多認識或互不認識的人們聚集，並產生一連串的互動與活動，儘管每個人都是基於自己的需求和動機而行動的，但這些個別小規模的互動，其總和的效應卻是非常巨大」—該段落正說明了以複雜科學為基礎的都市發展理論的觀點，乃將都市視為係由局部次系統 (sub-systems) 所累積形成的整體結果 (Batty 2005a, 2005b)，且在特定結構或條件下，會由混亂、混沌中自發地產生規律和秩序，譬如著名之幕次現象 (power law) 已在不同都市聚落體系中被廣泛地實證 (Krugman 1996; 賴世剛等 2010)。若由反向邏輯表述，也就是說，我們難以從整體系統所呈現的規律性去掌握局部次系統的運作情形，而這樣的性質與概念，相對於原子還原論或是以原子還原論為核心思維的傳統經濟觀點—試圖從基本構件的結果去剖析或推敲整體型態究竟是由哪些基本元素、粒子所組裝而成的運作方式，存有根本性的不同。

是以，複雜科學及其思維的出現和發展，突顯了線性思考及從上而下的還原論方法有諸多不足之處。誠如前述，複雜系統所關注的自我組織現象及突現論 (emergentism)，是著重於探討系統中數量龐大的作用體或個體會如何隨著時間而互動，並逐漸形成怎樣的整體特性與秩序。若從個體和總體經濟學的演進過程中可發現 (Arthur 2000; Batty 2000)，傳統經濟觀點同樣亦認為經濟體系係由許多經濟個

體 (economic agents) 所組成 (例如：廠商、銀行、消費族群、投資族群)，而整體的結果係由大量的經濟個體的互動所產生。此一想法雖與複雜科學認為系統是由下而上組織而成的概念類似 (賴世剛、郭修謙 2010; Holland 2012; Batty and Marshall 2012)，然傳統經濟理論及其研究者為避免由眾多經濟個體所創建的模式過於錯綜複雜，甚至可能因此阻礙最終目的一求取解析解 (analytical solutions)，故轉而投向較易處理但很可能遭過度簡化的處理方式。例如理性預期經濟學所講究的與追求的是侷限在：什麼樣的預期或預想，會與這些預期和預想所共同創建的模式結果是一致的、是平均可供驗證的 (Arthur 2000, 2006)。又例如消費者效用理論則是建構在「消費者的效用是僅取決於其自身消費」的假定，並完全忽略其他消費者同樣的消費行為所伴隨的決策相依性。而侷限於或規範於特定狀況下的簡化手段，不僅有利於將傳統經濟理論的看法以基於數式的形式簡潔表達，亦方便研究者依循其架構及探究其結構與義涵。

此外，為確保經濟模式的可行性或易處理性，傳統經濟理論慣以簡單的數學函數企圖捕捉或描述複雜多樣的代理人行為，同時必須附帶假設代理人和他們的同儕 (agents and their peers) 是擁有足夠聰明才智的且主觀推論他們已善用其能力內所能得到的一切的有益的訊息—所以他們沒有任何動機去改變其決策或行動 (Arthur 2006; Bouchaud 2008)。當然，如此過於簡化或嚴重脫離現實的假定，長期以來也一再地遭受諸多嚴厲批評與挑戰 (Kahneman and Tversky 1979; Tversky and Kahneman 1981, 1992; Mohamed 2006; Krantz and Kunreuther 2007; Ariely 2009; Kahneman 2011; Wang, Han, and Lai 2014)。譬如其中認知科學領域的研究者便認為，新古典經濟中的經濟人 (*homo economicus* of neoclassical economics) 被設定得太過聰慧—完美的深謀遠慮、完美的資訊整合能力、完美地評價每個可能的替代方案且缺乏任何的情緒構成要素 (Brocas and Carrillo 2003)。新古典經濟模型中的經濟人和其行為幾乎就像是個會行走的計算機器穿梭於世上，僅僅考慮經濟範疇—究竟如何最大化貨幣收入數和最佳化欲消費的商品項目 (Kirchgässner 2008)。諾貝爾經濟學獎得主 Vernon Lomax Smith 與著名之政治經濟學家 Gebhard Kirchgässner 亦強調，所謂的理性並非意指個體無時無刻都在執行最佳化或最佳方案，也非意味個體或代理人總是可以瞬間反應或瞬間發掘全部有價值的替代方案中的最優選項，實際上根本沒有人可一貫地運用理性的邏輯原則於每件他 (她) 所進行的事情上面 (Smith 2005, 2008; Kirchgässner 2008)。

反觀以複雜科學為基礎的都市發展理論，在基本假設上，則認知每個代理人都是異質的 (heterogeneous)，具備不完全資訊獲得能力、有限認知能力與有限理性等特性，且彼此通常呈現互相適應或競爭的關係 (Arthur 1991; Simon 1999; Briassoulis 2008; Holland 2012; Lai and Han 2014)。而其核心概念中所強調的「總體代理人的行為」，是由「眾多組件代理人的行為」所共同構成，但因「組件代理人」之間是有條件地產生互動，使得「總體代理人的行為」並不等同於「眾多組件代理人」的行為之加總 (Arthur 2006; Holland 2012)。若具象表述，複雜科學中的複雜系統 (complex systems, CS)、基於代理人的計算模型 (agent-based model, ABM) 或細胞自動體 (cellular automata, CA) 等概念或開發工具，其實就是一種從傳統的「聚合型態的理解方式」轉變為「非聚合型態的理解方式」之科學發展結果 (如 Lai 2003, 2006a; Batty 2005a)，而該科學發展結果則是為促進都市建模中的代理人、組件代理人甚至是總體代理人，能更貼近真實世界中的實際行為與反應—譬如：自主性 (autonomy)、回應性 (responsiveness)、持續性 (durative) 與適應性 (adaptability) 等 (如 Batty 2005b, 2009; Epstein 2009;

Macal and North 2010)。

故總括而論，傳統經濟觀點的思維與方法仍大多專注於構築線性、對稱、靜態的世界觀，並嚴格遵循單一均衡的概念，利用還原論和還原論方法解釋和解構都市或區域系統。反觀由複雜科學思維驅動的都市發展理論所強調的則是突現、非線性發展、動態的世界觀，試圖透過以異質個體 (agent-based) 為主的分析方式，理解個體究竟如何由下而上互動組織成整體型態的變遷過程 (視為有組織的複雜問題)。且為了仿效早期物理科學的成功，以及追求方法論上的嚴謹度與邏輯性，傳統經濟理論講究的和執著的是合於嚴格數理邏輯的先驗模型與技術結構，而並非合於真實世界的檢驗與觀察。若以新古典經濟理論 (neo-classical economic theory) 中的標準效用理論為例，該理論即一具合理邏輯的數學建構 (mathematical construct)，亦是仿效理論物理學的最佳範例 (the best examples of theoretical physics) (Von Neumann and Morgenstern 1953)。對照傳統經濟典範及原子還原論思維的數式建構 (equation based formulas)，利用複雜理論與複雜性概念探討都市發展之最主要目的在於貼近真實世界中的行為反應與相互影響關係，並令其模型和模擬能體現實際都市體系所可能蘊含的複雜性、多樣性及突現狀態 (請參照表 2)。

然而，複雜科學觀點和模型建構對於都市發展的詮釋上，卻也並非毫無缺點。首先，在複雜系統的模型中，雖然企圖同時改善「作用體數量」與「作用體所依循的邏輯規則」，使其變得更具真實性與多樣性，但在作用體的選擇上，卻可能仍無法考慮到都市中所有的作用體，這點與傳統都市經濟典範的分析方法所遭遇的難題是類似的。另一方面，在個體的行為及其決策的假設方面，雖採納了有限認知能力、有限理性、達可接受的最低偏好程度 (satisficing) 等規則 (如 Simon 1986, 1998)—試圖改善傳統都市經濟典範中完全理性行為人過於單調及脫離現實之爭議 (如 Mohamed 2006; Wang, Han, and Lai 2014)。但反過來說，卻也使其受限於同樣的規則設定裡。對照真實世界情況，行為人的理性程度、效用函數、權變函數或價值函數，實際上是會隨著所遭遇到的「選擇情境」或「問題框架」而改變，有時甚至是系統地、有一致趨勢地發生改變，而非任意地或完全隨機地變動遊走 (相關研究見 Kahneman and Tversky 1979; Tversky and Kahneman 1992; McElroy and Seta 2007; Krantz and Kunreuther 2007; 賴世剛、黃仲由 2012)。且隨著長期的社會、經濟、科技變遷及計劃效果等眾多因素介入 (如 Wang, Han, and Lai 2014)，人類個體在都市中的各種行為模式與伴隨的相關行動會受到什麼影響而發生什麼樣的改變，在現今的複雜系統模型中仍難以描繪出來而仍需留待後續的開發。綜言之，複雜科學典範與傳統經濟典範的持續發展與進步仍是有必要的。對於都市發展過程的模式化與模型化，目前雖難以完全避免還原論的簡化思維 (Batty and Torrens 2005; Arthur 2006; Manson and O'Sullivan 2006; 汪禮國、賴世剛 2008)，但值得進一步思考的是：我們究竟該如何「有策略性的簡化」，使得在減少整體系統複雜性與不確定性的同時，又可確保建模和模擬能真實再造出都市發展之空間型態 (space) 和系統結構 (place)，並從中有效地釐清欲探討的都市問題或都市複雜現象，則是未來應繼續深究的重點課題。

## 都市發展理論—生物有機觀點之演進與復興

自科學革命歷程後，「萬物機械哲學」與「受限於牛頓物理形式的世界觀或宇宙觀」已儼然成為

表 2 都市發展本質之觀點比較 - 傳統經濟觀點與複雜科學觀點

Table 2. The nature of urban development between traditional economics perspective and the viewpoint from complexity sciences.

傳統經濟觀點	複雜科學觀點
追求收斂、穩定和靜態均衡狀態	強調混沌、動態和遠離均衡狀態
基於遞減報酬 / 負回饋	倡導遞增報酬 / 正回饋 / 路徑相依 / 鎖定效果
代理人基於完全理性 / 完全資訊	代理人具備有限理性 / 有限的認知能力 / 不完全預見
代理人基於最優化 / 最佳化 / 利益動機	代理人追求滿足感而非最優化
強調自私經濟人或自身利益公理	無自私經濟人或自身利益公理
合於嚴格數理邏輯的先驗模型與技術結構	合於真實世界的檢驗與觀察
仿效早期物理科學的成功	以複雜性概念、生物有機概念、神經控制論為開端
依循簡單物理規則 / 類比為機械相互作用	整體系統的演化 / 生物有機體的隱喻
時間不連貫、線性與片段的發展過程	個體的動態變化及調整 / 隨時間演進的整體系統環境

西方科學思想的主流，但其發展歷程中所衍生的諸多反對運動卻未曾因此消失－譬如與笛卡兒哲學相近時期問世之生機論 (Vitalism)。生機論之擁護者主要是抨擊笛卡兒 (Rene Descartes) 當時將世界的本質類比為或解讀為機器裝置的看法，並極力反對藉由原子還原論或非生命的物質運動來強加詮釋包括人類在內的所有的生物與生命現象 (詳見 Kline 1990; Mayr 1997; Mazzocchi 2008; Allen 2005)。隨時間的開展而理論的各自演進，演進後的各種理論和主義仍舊保有不同程度地對抗，特別是應用於有關生物或生命系統的課題，常有許多相異觀點與機械哲學並列甚至產生激烈爭辯 (如 Mayr 1982; Allen 1997; Pumain 2006; Hoekstra, Kroc, and Sloot 2010)。

類似的「主流理論」與「非主流的反對運動」之間的對抗和分歧也存在於都市發展領域。在生機論出現後約兩個世紀，Frederic Harrison 與 Patrick Geddes 先後提出與當時主流觀點 (機械化世界觀) 相互對立的歷史生命整體 (living whole of history) 及生物有機體概念 (organicism)－主張都市 (與都市建築) 即歷史結果的體現，而歷史結果則為經切割分離後即成死物 (lifeless mass) 的生命整體 (Harrison 1894)；倡導非逐件、逐日或零碎片段處理的整體規劃，才能夠滿足都市或社會中「不斷進展的事務」與「持續增長的人口」的各種複雜需求 (Geddes 1915)。其觀點下的人類文明及都市增長乃被認知為永恆不朽的歷史的積累，而非經特定的物質、經濟或歷史事件所突現；都市環境則是由住居都市內的居民的集體力量所共同建成，而非透過不同利益團體的成員的彼此互動來構造；都市建築亦非僅供作滿足人類需求的表現，而是對都市作為一獨立生命有機體的一項貢獻 (Welter 2002)。

時間推進至二十世紀中葉，由 Frederic Harrison 與 Patrick Geddes 用以詮釋都市本質的有機觀點 (organic perspectives)，主要藉哲學家 Lewis Mumford 與後續相近概念的研究者的加入 (著名者如 Jane Jacobs、Christopher Alexander) 而得以茁壯延續。Mumford 在其所撰 *The City in History* 經典一書中便強調：今日許多有關都市未來發展遠景的思維假定 (ideological assumptions)，雖然是以人的本性和命

運為基礎的，但表面上它關注的是人們的生命與健康，內地裡流淌的卻是對有機過程的輕蔑（a deep contempt for organic processes）。且都市規劃者（包括社會學家或經濟學家）對未來經濟和都市擴張的計畫，均是建構在將巨大都市普遍化、機械化、標準化與完全失去人性的都市進化的終極目標之上，企圖透過各種機巧的機械替代品取代能獨立存在的有機形式（autonomous organic forms）。Lewis Mumford 同時嚴厲地批判近代普遍的都市發展思想或都市規劃行為，僅僅是為了追求易受控制的便利性及有利可圖的商業價值，而完全無意維持所有的有機形式的複雜的合作關係（Mumford 1961）。

此外，Christopher Alexander 所撰之 *A City is Not a Tree* 經典一文（Alexander 1965），亦曾嘗試利用都市內結構和組織型態的差異來解析都市增長時的「自然特性」。其文申論的概念乃將都市看待為許多元素共組的母集，母集內包含眾多子集，子集內的各元素因有相連貫的（coherent）或共同運作的（co-operative）功能而隸屬同一集合，至於子集與子集之間的交疊方式則可區分為半格子狀結構（semi-lattices）和樹狀結構（trees）兩種組織方式。Christopher Alexander 認為所謂的自然都市（natural cities）是經由歷史積累沉澱而來的，而透過都市設計者及都市規劃者著意創造的都市，則應被歸類為人造都市（artificial cities）—自然都市有著半格子狀結構（semi-lattices），但人造都市卻被組織成簡單樹狀結構（trees），這兩者的區別不僅僅在於子集與子集之間連結或交疊方式的差異，更重要地，半格子狀結構是由內生特性生成的、是由下而上生長的，顯而易見地比簡單樹狀結構是透過從上而下的控制與人為的設計刻劃來得更加複雜細微和具備較為豐富的型態。是以，我們應認清都市是遵照半格子狀結構原則發展，且須依此自然原則來提供適當的空間結構，以維持都市的「自然特性、合理性和必要的重合性」，並促成「完整的有機體形式的複雜的合作關係」（Geddes 1915; Mumford 1961; Lai 2003; 張松田、賴世剛 2009）。

再者，二十世紀初以 Robert Park、Ernest Burgess 與 Roderick McKenzie 等都市生態學家為首的芝加哥社會學派，因深受社會達爾文主義（Social Darwinism）所影響，亦常藉由生物動機或生物原理（例如：競爭、入侵、演替、隔離、代謝過程）來比擬人類行為、人類社區與都市發展過程，並試圖在都市、社會組織與生物有機體之間建構連結（Robson 1969; Theodorson 1982; Schwab 1992; Parker 2004; Gottdiener and Hutchison 2011）。其中，芝加哥社會學派核心人物 Robert Park 便曾借鑑 Charles Darwin (1809-1882) 的生命網絡（the web of life）之理論概念，倡導所謂共生的社會（symbiotic societies）並非僅是居住在同一棲息地的植物和動物的無組織集體，相反地，他們應是透過最微妙複雜的方式彼此維繫與依存（Park 1936a）。而當時都市生態學思想中的「都市」，則進一步被詮釋為參與都市居民的生命歷程的「自然產物」，尤其是人類本性（human nature）的產物，而絕非只是住居都市內的居民、機械裝置、社會設施與人造建築的簡單聚集—因都市環境與都市內的個體或群體是以潛藏的與有機的生態過程（ecological processes）相互地關聯（Park 1936a, 1936b; Park, Burgess, and McKenzie 1967）。

發展至今，Lai (2003) 立基於 Christopher Alexander、Herbert Simon 與 Jane Jacobs 等早期研究者之原創構想，藉由單維細胞自動機（one dimensional cellular automata）作為探索都市空間演變的分析工具，並用以隱喻抽象化後的傳統的與狹長狀的線形都市（詳見 Krugman 1996; Frey 1999）之發展。作者賴世剛認為，都市整體與都市中的實質環境，實際上就是許多局部土地開發決策互動的產物，因此該研究中將每個細胞（cell grid）比擬為都市開發的宗地，至於每個細胞的狀態變化（k=2）則代表不同的土地使用用途，而單維細胞自動機全數共 256 條演化規則（Mitchell, Crutchfield, and Hraber 1994;

Wolfram 2002) 在經過非決定性有限狀態自動體 (nondeterministic finite state automata, NDFA) 與決定性有限狀態自動體 (deterministic finite state automata, DFA) 的方式表現後，可適當地分類出 Alexander (1965) 所定義的半格子結構原則與簡單樹狀結構原則，進而作為單維細胞自動體模擬都市複雜空間演變時的演化規則與依據。

最終其研究模擬發現，Stephen Wolfram 在《*A New Kind of Science*》經典一書中所劃分的第四類複雜型態 (Langton 1984; Wolfram 2002) 中的直線形時空圖，必然是依照半格子狀結構 (semi-lattices) 而非簡單樹狀結構 (trees) 的轉換規則演變而成 (請參照表 3)。且該複雜型態的演化結果，除了符合都市複雜空間系統遊走於秩序與混沌邊緣的自我組織特性 (self-organization)，同時亦初步證實 Christopher Alexander 當初的假說 (Alexander 1965; Waldrop 1992; Lai 2003)。從而我們可得知，看似渾沌卻隱含部分強烈秩序的都市演變過程，極可能就是建立在少數的、具有決定性的簡單規則之上，並透過大量的個體之間的局部互動由下而上 (bottom-up) 所共同突現 (如賴世剛、陳建元 2004; Batty 2005b, 2008a)。Geoffrey Caruso 等相關學者認為，Lai (2003) 是他們所知範圍內，唯一成功地藉由單維細胞自動機 (one-dimensional cellular automata, 1D-CA) 作為探索都市空間演變機制的重要研究，而相較於二維或三維以上維度的細胞自動機 (2D-CA; 3D-CA)，單維細胞自動機對於理解都市空間動態演化，提供了更直觀及更簡易的可視化方式 (Caruso et al. 2009)。

表 3 單維細胞自動機第四類複雜型態的 8 個演變規則

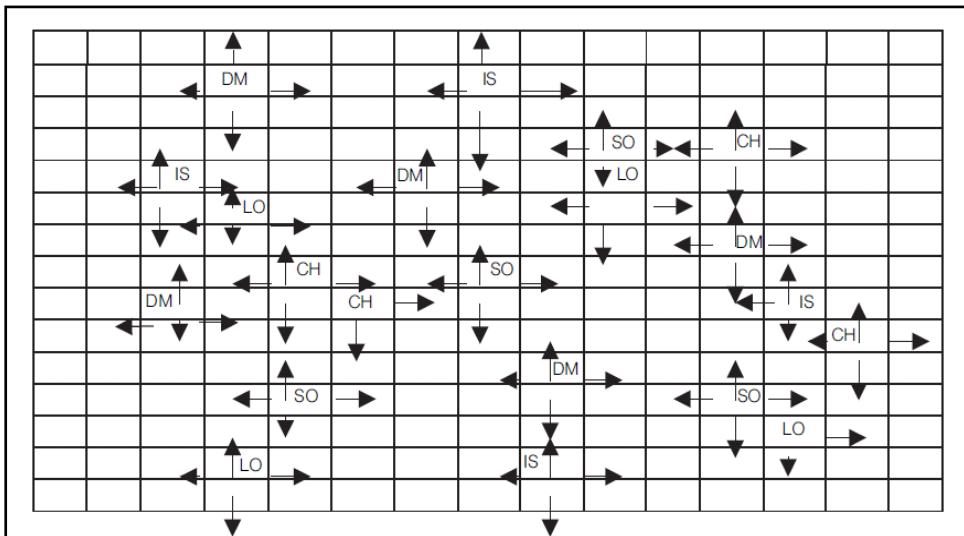
Table 3. The eight transition rules that are semi-lattices and result in class 4 structures.

Rule Number	■■■	■■□	■□■	□□■	□■■	□■□	□□■	□□□
9	□	□	□	□	■	□	□	■
41	□	□	■	□	■	□	□	■
65	□	■	□	□	□	□	□	■
97	□	■	■	□	□	□	□	■
107	□	■	■	□	■	□	■	■
111	□	■	■	□	■	■	■	■
121	□	■	■	■	■	□	□	■
125	□	■	■	■	■	■	□	■

資料來源：整理自 Lai (2003)。

近期，Lai (2006a) 則提出一類似於個體建模 (agent-based modeling) 之原創的模型架構—空間垃圾桶模型 (Spatial Garbage Can Model, SGCM)，來模擬與解釋有組織但無政府狀態 (organized anarchy) 時的都市突現現象。SGCM 觀點下的都市發展過程，源自於五種幾乎獨立的元素川流在時空中不停地遊走、產生碰撞以及交互作用後所構成 (請參照圖 1)。其五種川流要素分別為：(一) 決策者：即行動者或開發者，在公領域或者私領域，他們試圖將土地作適當地土地開發、(二) 問題：即決策者所希望

的狀態和當前處境之間的差異、(三) 解決方案：即土地、資本或任何其他能幫助了解發展狀況及有益於決策制定的資源、(四) 決策情境或選擇機會：即開發決策是否可能被制定的機會、(五) 土地和設施的區位：以土地開發之情境為例，即設施是否在適當的土地上進行開發（詳見 Cohen, March, and Olsen 1972; Lai, Han, and Ko 2013; 賴世剛、王昱智、韓昊英 2012）。若簡言之，SGCM 可視作一種解析都市發展的抽象化和概念化的模式，意圖將都市理解為「眾多公部門與私部門大量決策與規劃行為所共同突現的發展結果」。該模式之運作機制與 ABM 相近，均強調眾多無中央組織機構控制的個體依循一定的邏輯規則移動，且在特定條件狀況下，個體會發生相互影響（但非必然地產生關聯或毫無規則地發生作用），並在更高層次結構中突現或衍生新的特性（properties）或組件（components）甚至進而影響整個複雜都市系統（整體與局部的互動；互相關聯成為一個有機的整體）（Jacobs 1961; Alexander 1965; Batty and Longley 1994）。



資料來源：Lai (2006a)。

說明：DM：決策者；IS：問題；CH：決策情境；SO：解決方案；LO：區位。

圖 1 空間垃圾桶模型模擬圖

Fig. 1. Simulation diagram of spatial garbage can model.

回顧生物有機體的隱喻概念的初期發展，實際上並未在都市發展領域形成廣泛地迴響或共鳴，若根據前述之討論，其根本原因或許可歸納為三個層面來看：(一) 當時的優勢觀點仍然是以從上而下看待都市、控制都市與設計都市的「硬體技術」為主；(二) 當時「倡議都市應自下而上演化發展」或者「反抗從上而下規劃設計都市」的擁護者和學派數量相對稀少；(三) 生物有機體的隱喻概念的初期發展，幾乎僅停留在意識型態上或哲學概念上的闡述，且彼此之間缺乏接合或對話—這樣的僵局存續至第二次世界大戰後，因其融合了當時陸續逆發的科學發展思想，以及受惠於大幅度地降低成本的計算機軟硬件（Weaver 1948; Jacobs 1961; Cowan 1994; Simon 1998），對都市如何形成與如何成長的思考方式才開始出現關鍵之改變。隨後緊接發展的複雜系統觀點或複雜科學所主張的突現論（emergentism）

一強調總體的模式、行為和組織型態是由較小尺度的局部狀態之間的互動所突現，且各個組成構件之加總必然會小於整體 (whole is greater than the sum of the parts)，事實上就是與前揭討論的複雜性概念與生物有機體論之詮釋方式及主張不謀而合 (Park 1940; Deutsch 1951; Waldrop 1992; Cowan, Pines, and Meltzer 1994; Simon 1998; Batty and Torrens 2005; Mitchell 2009)。

## 都市發展理論—都市成長與擴張的自然規律

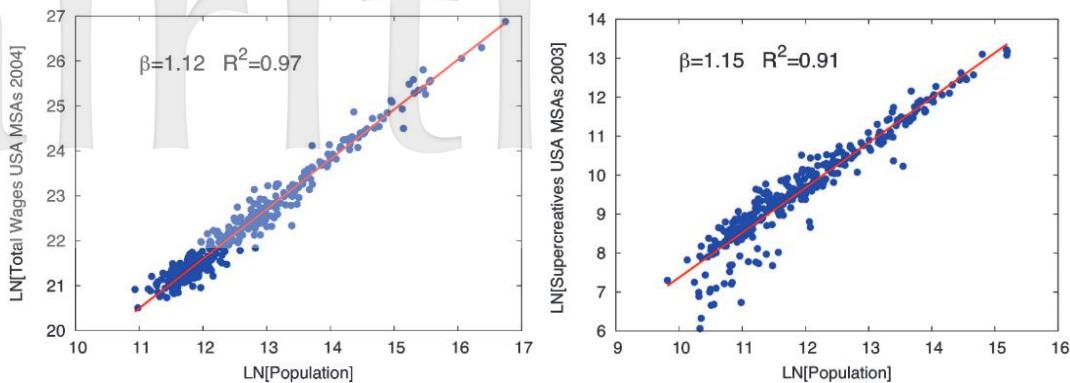
在最新的研究中，Luis M. A. Bettencourt、José Lobo、Dirk Helbing、Christian Kühnert 與 Geoffrey B. West 等學者及其研究團隊 (Santa Fe Institute, SFI)，則提供更具體的與定量的科學根據與理論框架 (Bettencourt et al. 2007; Bettencourt and West 2010)，藉以說明都市個體儘管無法在外觀或功能上一對一地將組織機構對應至生物有機體的部位 (components) 或器官 (organs)，但其生長和擴增的方式卻符合生物有機體普遍適用的增長法則。也就是說，各種都市屬性或都市變量 (設定為  $Y(t)$ ) 和眾多規模大小有別的都市個體單元 (設定為  $N(t)$ )，若分別被類比為生物有機體之生理特徵量和各種生物物種之體積量級，則我們可仿照生物自然演化的異速增長規律 (allometric scaling law) (Brown and West 2000; West and Brown 2005) 適當地展現其非線性關係與增長變化 (請參見數式 1)：

$$Y(t)=Y_0[N(t)]^\beta \quad (1)$$

數式 1 所呈現的幕函數可直觀解讀為：當都市人口規模數量逐漸遞增或擴大，相對應的都市變量亦必然隨之遞增 (positive relationships)，但其最重要關鍵在於遞增或擴大的程度是由參數  $\beta$  所控制。當  $\beta > 1$  時，表示正向的異速增長 (positive allometry)，即都市變量增長的速度比都市規模增長的速度還快。當  $\beta < 1$  時，表示負向的異速增長 (negative allometry)，即都市變量增長的速度比都市規模增長的速度還慢。當  $\beta = 1$  時，表示呈等速增長 (isometry)，即都市變量與都市規模維持線性的與同比例的增長關係。此時，為便於擬合 (fitting) 衆多都市變量或特徵量時以線性形式簡潔表達，故數式 1 一般在取雙對數後 (log-log plots)，將該幕律關係式由原先的指數非線性形改寫為對數線性形 (請參照數式 2 及圖 2，以美國地區各都市之工資總額和超創意就業數為例)：

$$\ln Y(t) = \ln Y_0 + \beta \ln N(t) \quad (2)$$

反言之，經擴展實驗範圍後的生物異速增長規律，如今被證實不僅適用幾乎完整的生命系統 (West, Brown, and Enquist 1997, 1999)，更可延伸應用於規模更加龐大且更為複雜的都市體系 (Webb 2007)。該重要發現即意味著當任意都市體系內的眾多都市個體之人口規模在增長或擴張之際，其社會經濟量或基礎設施之物理量 (相對於生物體的性狀或生理特徵量，例如：新陳代謝率、心跳頻率、股骨剖面) 將會自發地、有組織地聚集於對數座標平面的擬合直線 (fitting line)，並且依循著特定的縮放幕指數 (scaling exponents;  $\beta$ ) 進行相對應的增長變化。



資料來源：Bettencourt et al. (2007)。

說明：2004 年之工資總額對應美國各都市人口數（左）、2003 年之超創意就業數對應美國各都市人口數（右）。

圖 2 尺度縮放關係之釋例（美國）

Fig. 2. Examples of scaling relationships (U.S.).

承上，為深入確認都市的異速增長現象之普遍性與適用性，Huang and Lai (2012)、黃仲由、賴世剛 (2012, 2013) 亦曾以臺灣地區 (Taiwan) 作為實證對象，同樣根據異速增長規律來表現都市人口規模與眾多都市變量或都市特徵量之間的增長關係 (如數式 1 與數式 2)。最終其研究結果顯示：除過去文獻所關注之基礎公共設施、都市供給系統與社會互動模式之外 (Kühnert, Helbing, and West 2006; Bettencourt et al. 2007)，擴大檢測範圍後的項目，譬如交通運輸載具數量，依然能在保有極為良好的擬合配適度的前提下，突現出可對比生命系統的異速增長關係 (請參照圖 3，以臺灣地區各都市之機車數量與汽車數量為例)。

是以可見，都市人口規模一旦出現增長或衰退的變動時，則其局部特徵量 (traits) 或次系統 (sub-systems) 幾乎是以非等比例 (non-proportional) 進行縮放，而非傳統規劃上或者實務上所熟悉的等比例 (proportional) 假定 (等速增長僅是異速增長中相對少數的特例)。且更重要地，我們可藉此都市體系與生命系統的共通特性進一步推論：

(一) 當縮放幕指數 (scaling exponents) 大於 1 (positive allometry)，則平均而言，都市人口規模改變將造成較大規模都市 (larger cities; LC) 的局部次系統之增減量相對多，較小規模都市 (smaller towns; ST) 的局部次系統之增減量相對少。例如將 ST 之人口數設為 100,000、LC 之人口數設為 1,000,000，而其共同突現之縮放幕指數  $\beta_1$  訂為 1.15 (常數  $Y_0$  設為 1)。當面臨同樣的人口增長數 5,000 時，將造成 ST 之次系統的增量  $\delta_1$  為 32,454 單位，但造成 LC 之次系統的增量  $\delta_2$  却達 45,691 單位 (即  $\delta_2 > \delta_1$ ，請參見數式 3 與數式 4)；而當面臨同樣的人口縮減數 5,000 時，將造成 ST 之次系統的減量  $\lambda_1$  為 32,212 單位，但造成 LC 之次系統的減量  $\lambda_2$  却達 45,657 單位 (即  $\lambda_2 > \lambda_1$ ，請參見數式 5 與數式 6)。

$$\delta_1 = [\exp(1.15 \cdot \ln(105000)) - \exp(1.15 \cdot \ln(100000))] \doteq 32454 \quad (3)$$

$$\delta_2 = [\exp(1.15 \cdot \ln(1005000)) - \exp(1.15 \cdot \ln(1000000))] \doteq 45691 \quad (4)$$

$$\lambda_1 = [\exp(1.15 \cdot \ln(100000)) - \exp(1.15 \cdot \ln(95000))] \doteq 32212 \quad (5)$$

$$\lambda_2 = [\exp(1.15 \cdot \ln(1000000)) - \exp(1.15 \cdot \ln(995000))] \doteq 45657 \quad (6)$$

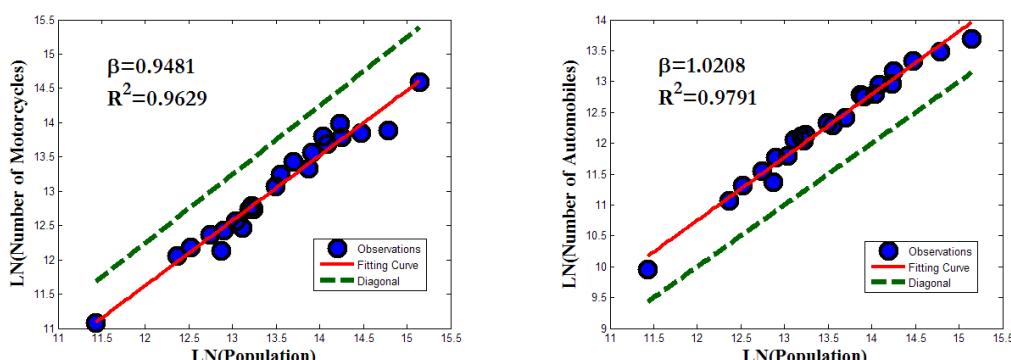
(二) 當縮放幕指數 (scaling exponents) 小於 1 (negative allometry)，則平均而言，都市人口規模改變將造成較大規模都市 (larger cities; LC) 的局部次系統之增減量相對少，較小規模都市 (smaller towns; ST) 的局部次系統之增減量相對多。例如將 ST 之人口數設為 100,000、LC 之人口數設為 1,000,000，而其共同突現之縮放幕指數  $\beta_2$  訂為 0.85 (常數  $Y_0$  設為 1)。當面臨同樣的人口增長數 5,000 時，將造成 ST 之次系統之增量  $\delta_3$  為 752 單位，但造成 LC 之次系統的增量  $\delta_4$  却僅 534 單位 (即  $\delta_3 > \delta_4$ ，請參見數式 7 與數式 8)；而當面臨同樣的人口縮減數 5,000 時，將造成 ST 之次系統的減量  $\lambda_3$  為 758 單位，但造成 LC 之次系統的減量  $\lambda_4$  却僅 535 單位 (即  $\lambda_3 > \lambda_4$ ，請參見數式 9 與數式 10)。

$$\delta_3 = [\exp(0.85 \cdot \ln(105000)) - \exp(0.85 \cdot \ln(100000))] \doteq 752 \quad (7)$$

$$\delta_4 = [\exp(0.85 \cdot \ln(1005000)) - \exp(0.85 \cdot \ln(1000000))] \doteq 534 \quad (8)$$

$$\lambda_3 = [\exp(0.85 \cdot \ln(100000)) - \exp(0.85 \cdot \ln(95000))] \doteq 758 \quad (9)$$

$$\lambda_4 = [\exp(0.85 \cdot \ln(1000000)) - \exp(0.85 \cdot \ln(995000))] \doteq 535 \quad (10)$$



資料來源：Huang and Lai (2012)。

說明：2008 年臺灣都市之機車數量對應其人口規模 (左)、2008 年臺灣都市之汽車數量對應其人口規模 (右)。

圖 3 尺度縮放關係之釋例 (臺灣)

Fig. 3. Examples of scaling relationships (Taiwan).

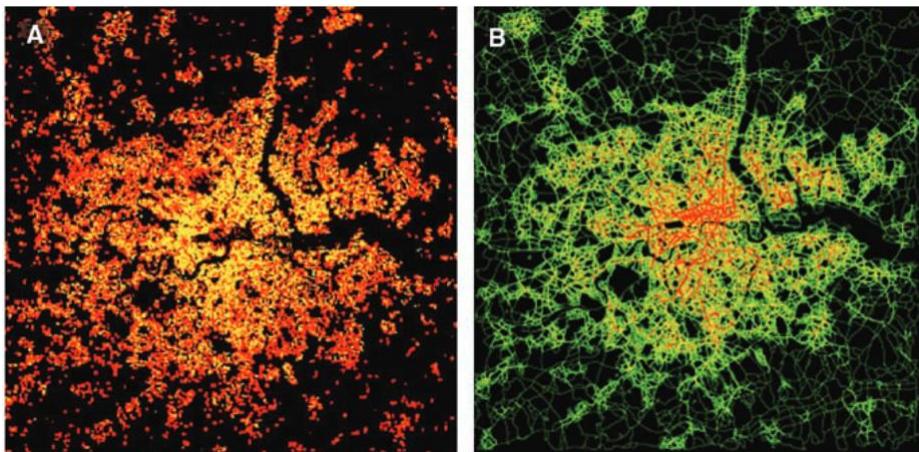
## 結論：趨向生物有機增長的思考方式

過去超過一個世紀的時間以來，我們對於都市、都市發展或都市成長的理解與詮釋正緩慢地反映 Frederic Harrison、Patrick Geddes、Lewis Mumford、Ebenezer Howard、Robert Park、Alan Turing、Norbert Wiener、Warren Weaver、Ludwig Von Bertalanffy、Herbert Simon、Peter Hall、Jane Jacobs、Christopher Alexander 等早期研究者所提供的寶貴訊息—如今，都市、都市發展或都市成長之本質，已不再被看待

為或被比擬為混沌的、無序的與機械論的系統或系統狀態，而是逐步地邁向遠離均衡的、路徑相依的與共演化的生物有機增長觀點。

若從過去傳統的類比或隱喻的方式來省思—相較於漠視元素 (elements) 或組件 (components) 間關聯的機械系統，或是根據既定藍圖進行築構的巨大設計，則都市增長必然更為接近生物有機的增長方式—因都市其總體的形態和行為，皆是由較小尺度的、數量龐大的、行為自發的、具決策能力的個體或組織自下而上地突現，而僅偶爾伴隨從上而下集中控制的管制或者行動 (Simon 1998; Portugali 2000; Batty and Marshall 2012; Batty 2013)。

若就都市型態 (urban morphologies) 來檢視—在都市混沌的、紊亂的和多樣的表象和外觀下，實際上卻潛藏著都市發展時和擴張時需要的無數個體或團體的決策和互動過程所共同突現的強烈秩序 (order) 和型態 (pattern)，且可透過遙感影像 (remotely sensed imagery) 觀測到都市的人口增長過程之分布與街道網絡之蔓延路徑，皆普遍地與重複地開展出近似於生物有機體增長時的自我相似性 (self-similarity) 與碎形結構 (fractal-like structures) (請參照圖 4，詳見 Batty and Longley 1994; Batty 1997; 2008a; Brown and West 2000)。



資料來源：Batty (2008a)。

說明：(A) 倫敦之人口分布型態、(B) 倫敦路網之生長路徑與聯通程度。

圖 4 碎形都市 (英國倫敦)

Fig. 4. Fractal cities (London).

若進一步以上一個世紀的傳統的系統觀點來解釋—隨複雜科學及其思維的出現和蓬勃發展，突顯了從上而下的、線性對稱的以及由整體型態推敲局部次系統的還原論方法仍有諸多不足之處，進而促使過去對於完美均衡世界的嚮往與著重都市系統的靜態結構的解析方式，逐漸蛻變為都市發展過程中的規律探索與自下而上演化發展的動態行為模擬 (如 Batty 2008c, 2009, 2013; Lai, Han, and Ko 2013; Lai and Han 2014)。相對於早期的傳統的將都市系統詮釋為無組織的、還原論式的、樹狀結構原則的、仿效物理科學且執著於嚴格數理技術建構的簡化性思考，我們正處在將都市系統視為有組織的、突現論式的、遠離均衡的、半格子狀結構原則的、異構個體間有條件地相互關聯的、以生物有機概念為開

端且追求合於真實世界檢驗與觀察的複雜性思考的過渡時期（請參照表 2 與表 4）。

整體而論，本篇研究的目的不在於對所有的都市發展理論的相關文獻提供全面性的回顧，而是嘗試與傳統的機械化世界觀和還原論思維支配下的都市發展理論之詮釋方式做一對話，同時，針對各種隱喻或類比都市發展的主流觀點（例如：機械化世界觀、以利益動機為核心的經濟思維），或是理解都市空間演變過程的數個主要取徑（例如：產業區位觀點、都市人文生態觀點、傳統經濟學觀點、生物有機觀點與複雜系統觀點），提出一整合性之本質論證與比較，藉以探求更為完善且貼近真實世界的思考方式，並彌補過去在詮釋都市發展及都市增長方面可能的不足。

時至今日，將都市本質視為生物有機體（organisms）以及將都市增長過程比擬為生物有機增長（organic growth）的思考方式，是因都市個體間普遍地具有潛在的、原生自發的、彼此緊密關聯的自然生長規律與自我相似的都市型態（urban morphologies），且其各個社會經濟量（social quantities）或設施物理量（physical links）皆嚴格地遵循眾多都市個體所共同突現之生物生長規律（biological scaling relationships）。過去所遺留下未經檢驗但顯然成立的發展概念（Jacobs 1961; Alexander 1965; Alexander, Ishikawa, and Silverstein 1977），現今已透過複雜科學（都市科學）的持續推展和前揭發展概念之間的相互援引而獲得較具體的初步解釋—都市應為一個複雜的、自我組織的、彼此緊密關聯的、自下而上生長且非著意控制刻劃完成的「生物有機整體」（Geddes 1915; Jacobs 1961; Mumford 1961; Alexander 1965; Batty and Longley 1994; Batty 2005a）。

**表 4 都市發展本質之觀點比較 - 機械化世界觀與生物有機觀**

Table 4. The nature of urban development between mechanization of the world picture and organic perspectives.

機械化世界觀	生物有機觀
原子還原論 / 決定論 / 線性對稱思考	突現論 / 整體論 / 非線性思考
簡單系統 / 沒有組織的複雜系統	複雜系統 / 有組織的複雜系統
類比為功能分離的機器或無組織的集體	互相關聯成為一個生物有機的整體
由整體型態剖析或推敲局部次系統	異構部件之間有條件地相互關聯或影響
自上而下控制刻劃 / 可還原 / 可逆性質	自下而上演化 / 自我組織 / 不可還原 / 不可逆性質
樹狀簡單結構原則 / 單一功能與單一用途	半格子狀結構原則 / 多重附屬與重疊的可能性
普遍化 / 機械化 / 標準化之終極目標	有機生長 / 集體進化的實體 / 能獨立存在的有機形式

本研究認為，生物有機觀點（organicism）及生物有機增長之思考方式，實現過去機械化世界觀（the classical concept of mechanism）與還原論思維（reductionism）所無法提供的深刻洞察，而假若我們期望成功地以整體的與永續的發展概念去規劃一個都市甚至是整個都市體系，而非僅是設計、翻攬或者複製大量的機械硬體或公共建物設施，則未來需開始去學習掌握現代都市體系複雜的及不同構面的增長潛能，認清都市自發形成的異速生長本質，並依此原生特性來引導及評估都市發展計畫與決策。本研究議程除可作為複雜科學與都市科學興起後對於傳統的都市發展典範（如 Jacobs 1961; Mumford

1961; Lynch 1981; Fujita, Krugman, and Venables, 1999; Fujita and Thisse 2002; Ball 2012; Wilson 2012; Batty 2013; Lai and Han 2014; Arthur 2015) 之補充，亦可增進對都市發展是如何發生、都市是如何運作、都市空間型態將如何演變以及都市未來應如何發展等本質層面及其決策過程之預測和理解。

## 謝辭

本論文初稿曾發表於 2012 年 7 月 3-5 日之「世界華人不動產學會 2012 年會 (GCREC 2012 Annual Conference in Macau)」，感謝會議主持人—中國浙江大學賈生華教授和現場與會者之評論意見。作者感謝國立臺北大學不動產與城鄉環境學系博士生—柯博晟先生對本論文初稿提供個人見解及建言 (複雜系統觀點與傳統經濟觀點)。作者感謝詹士樑教授、李承嘉教授、葉大綱教授、馮君君教授、藍逸之博士與王傳盛博士於本論文寫作過程中的協助和討論。作者感謝兩位匿名審查委員之寶貴建議與悉心指正。作者感謝科技部 (國科會) 對本研究的經費支持 (計畫編號：NSC99-2410-H-305-068-MY2)。

## 引用文獻

于如陵、賴世剛 [Yu J. L., and S. K. Lai] 2001。聚落體系形成之電腦模擬實驗—以報酬遞增觀點為基礎之探討 [Ju luo ti xi xing cheng zhi dian nao mo ni shi yan: Yi bao chou di zeng guan dian wei ji chu zhi tan tao; Computer experiments on formation of settlement systems: An exploration based on increasing returns]。台灣土地研究 [Tai wan tu di yan jiu; Journal of Taiwan Land Research] 3: 83-106。

汪禮國、賴世剛 [Wang, L. G., and S. K. Lai] 2008。複雜科學與都市發展理論：回顧與展望 [Fu za ke xue yu du shi fa zhan li lun: Hui gu yu zhan wang; Complexity science and urban development theory: A review and prospects]。台灣公共工程學刊 [Tai wan gong gong gong cheng xue kan; Journal of the Taiwan Society of Public Works] 4 (4): 1-11。

柯博晟 [Ko, P. C.] 2009。從都市發展區塊規模探討幂次係數變化：複雜科學與經濟觀點之探索 [Cong du shi fa zhan qu kuai gui mo tan tao mi ci xi shu bian hua: Fu za ke xue yu jing ji guan dian zhi tan suo; Power law coefficient variation in growth of urban development lumps: An exploration based on complexity science and economic perspectives]。國立台北大學都市計劃研究所碩士論文 [Master thesis, Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University, Taipei]。

張松田、賴世剛 [Chang S. T., and S. K. Lai] 2009。混沌與突現在西門市場 (紅樓)—城市不是一棵樹 [Hun dun yu tu xian zai xi men shi chang (hong lou): Cheng shi bu shi yi ke shu; Chaos and emergence at Xi Men (Red Theater): A city is not a tree]。中華建築學刊 [Zhonghua Jianzhu Xuekan; Chung Hua Journal of Architecture] 3 (3): 33-46。

黃仲由 [Huang, J. Y.] 2007。中部科學工業園區之設置對台灣中部區域經濟影響 [Zhongbu ke xue gong ye yuan qu zhi she zhi dui tai wan zhongbu qu yu jing ji ying xiang; Economic impacts on central Taiwan region by establishing the CTSP]。國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文 [Master

- thesis, Graduate Institute of Public Affairs Management, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung]。黃仲由、賴世剛 [Huang, J. Y., and S. K. Lai] 2012。臺灣都市增長之縮放寡律及其啟示 [Tai wan du shi zeng zhang zhi suo fang mi lü ji qi shi]。發表於 2012 年中華民國都市計劃學會、區域科學學會、住宅學會、地區發展學會聯合年會暨論文研討會，臺北 [Fa biao yu 2012 nian zhong hua min guo du shi ji hua xue hui qu yu ke xue xue hui, zhu zhai xue hui, di qu fa zhan xue hui lian he nian hui ji lun wen yan tao hui, Taipei]。
- . 2013。都市縮放寡律之自我組織過程及其啟示—臺灣地區之實證 [Du shi suo fang mi lü zhi zi wo zu zhi guo cheng ji qi shi: Tai wan di qu zhi shi zheng]。發表於 2013 年中華民國都市計劃學會、區域科學學會、住宅學會、地區發展學會聯合年會暨論文研討會，臺南 [Fa biao yu 2013 nian zhong hua min guo du shi ji hua xue hui, qu yu ke xue xue hui, zhu zhai xue hui, di qu fa zhan xue hui lian he nian hui ji lun wen yan tao hui, Tainan]。
- 賴世剛 [Lai, S. K.] 2006。都市、複雜與規劃—理解並改善都市發展 [Du shi fu za yu gui hua: Li jie bing gai shan du shi fa zhan; Cities, complexity and planning: Understanding and improving urban development]。臺北 [Taipei]：詹氏書局 [zhan shi shu ju; Chan's Arch-Publishing Co., Ltd.]。
- 賴世剛、王昱智、韓昊英 [Lai, S. K., Y. C. Wang, and H. Y. Han] 2012。都市自我組織—制度與空間演變的模擬比較 [Du shi zi wo zu zhi: Zhi du yu kong jian yan bian de mo ni bi jiao; Urban self-organization: A simulation comparison between institutional and spatial change]。地理學報 [Di li xue bao; Journal of Geographical Science] 67: 49-71, doi: 10.6161/jgs.2012.67.03。
- 賴世剛、高宏軒 [Lai, S. K., and H. H. Gao] 2001。都市複雜空間系統自我組織臨界性之初探 [Du shi fu za kong jian xi tong zi wo zu zhi lin jie xing zhi chu tan; Self-organized criticality in urban complex spatial systems]。國立臺灣大學建築與城鄉研究學報 [Guo li tai wan da xue jian zhu yu cheng xiang yan jiu xue bao; Journal of Building and Planning National Taiwan University] 10: 31-43, doi: 10.6154/JBP.2001.10.003。
- 賴世剛、郭修謙 [Lai, S. K., and S. C. Kuo] 2010。突現：建構複雜都市系統模式 [Tu xian: Jian gou fu za du shi xi tong mo shi]。國科會專題研究計畫期末成果報告，計畫編號：NSC97-2410-H305-064-MY2 [Guo ke hui zhuan ti yan jiu ji hua qi mo cheng guo bao gao, Ji hua bian hao: NSC97-2410-H305-064-MY2]。
- 賴世剛、陳建元 [Lai, S. K., and C. Y. Chen] 2004。應用單維細胞自動體模擬空間賽局互動系統以檢視規劃作用的影響 [Ying yong dan wei xi bao zi dong ti mo ni kong jian sai ju hu dong xi tong yi jian shi gui hua zuo yong de ying xiang; Application of one-dimensional cellular automata to simulate spatial games to examine effects of planning]。台灣土地研究 [Tai wan tu di yan jiu; Journal of Taiwan Land Research] 7 (1): 49-70。
- 賴世剛、陳增隆 [Lai, S. K., and T. L. Chen] 2002。廠商聚集的區域鎖定效果：遞增報酬的模擬觀察 [Chang shang ju ji de qu yu suo ding xiao guo: Di zeng bao chou de mo ni guan cha; Regional lock-in effect of agglomeration of firms: Some observations from increasing returns simulations]。地理學報 [Di li xue bao; Journal of Geographical Science] 31: 17-34。

賴世剛、黃仲由 [Lai, S. K., and J. Y. Huang] 2012。基於權變效用模式的行為規劃理論建構與應用 [Ji yu quan bian xiao yong mo shi de xing wei gui hua li lun jian gou yu ying yong]。國科會專題研究計畫期末成果報告，計畫編號：NSC99-2410-H305-068-MY2 [Guo ke hui zhuan ti yan jiu ji hua qi mo cheng guo bao gao, Ji hua bian hao: NSC99-2410-H305-068-MY2]。

賴世剛、韓昊英、吳次芳 [Lai, S. K., H. Y. Han, and C. F. Wu] 2009。城市管理的學科設計—架構與內涵 [Cheng shi guan li de xue ke she ji: Jia gou yu nei han; Design of city management discipline: Framework and content]。公共事務評論 [Gong gong shi wu ping lun; Journal of Public Affairs Review] 10 (2): 35-72。

賴世剛、韓昊英、于如陵、柯博晟 [Lai, S. K., H. Y. Han, J. L. Yu, and P. C. Ko] 2010。都市聚落系統的形成規律—遞增報酬與幕次法則的計算機與數理仿真 [Du shi ju luo xi tong de xing cheng gui lü: Di zeng bao chou yu mi ci fa ze de ji suan ji yu shu li fang zhen; The formation of urban settlement systems: Computer experiments and mathematical proofs of the increasing returns approach to power law]。地理學報 [Di li xue bao; Acta Geographica Sinica] 65 (8): 961-72。

Alexander, C. 1965. A city is not a tree. *Architectural Forum* 122 (1) (2): 58-61.

Alexander, C., S. Ishikawa, M. Silverstein, M. Jacobson, I. Fiksdahl-king, and S. Angel. 1977. *A pattern language: Towns, buildings, construction*. New York: Oxford University Press.

Allen, G. E. 2005. Mechanism, vitalism and organicism in late nineteenth and twentieth-century biology: The importance of historical context. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36 (2): 261-83, doi: 10.1016/j.shpsc.2005.03.003.

Allen, P. M. 1997. *Cities and regions as self-organizing systems: Models of complexity*. The Netherlands, Amsterdam: Gordan and Breach.

Alonso, W. 1964. *Location and land use: Towards a general theory of land rent*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Anas, A., R. Arnott, and K. A. Small. 1998. Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature* 36 (3): 1426-64.

Anderson, P. 1999. Perspective: Complexity theory and organization science. *Organization Science* 10 (3): 216-32, doi: 10.1287/orsc.10.3.216.

Anderson, P. W. 1972. More is different. *Science* 177 (4047): 393-96, doi: 10.1126/science.177.4047.393.

———. 2001. More is different—One more time. In *More is different: Fifty years of condensed matter physics*, eds. N. P. Ong, and R. N. Bhatt, 1-8. Princeton and Oxford: Princeton University Press.

Ariely, D. 2009. *Predictably irrational: The hidden forces that shape our decisions*. New York: Harper Collins.

Arthur, W. B. 1990. Positive feedbacks in the economy. *Scientific American* 262 (2): 92-9, doi: 10.1038/scientificamerican0290-92.

———. 1991. Designing economic agents that act like human agents: A behavioral approach to bounded rationality. *American Economic Review* 81 (2): 353-59.

- \_\_\_\_\_. 1997. *Increasing returns and path dependence in the economy*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- \_\_\_\_\_. 1999. Complexity and the economy. *Science* 284 (5411): 107-9, doi: 10.1126/science.284.5411.107.
- \_\_\_\_\_. 2000. Complexity and the economy. In *The complexity vision and the teaching of economics*, ed. D. Colander, 19-28. Northampton Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- \_\_\_\_\_. 2006. Out-of-equilibrium economics and agent-based modeling. In *Handbook of computational economics, volume 2*, eds. L. Tesfatsion, and K. L. Judd, 1551-64. North-Holland: Elsevier B.V, doi: 10.1016/S1574-0021(05)02032-0.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Complexity and the economy*. New York: Oxford University Press.
- Bak, P. 1996. *How nature works: The science of self-organised criticality*. New York: Copernicus Press.
- Ball, P. 2012. *Why society is a complex matter: Meeting twenty-first century challenges with a new kind of science*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Barnes, T. J., J. Peck, E. Sheppard, and A. Tickell, eds. 2008. *Reading economic geography*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Batty, M. 1976. *Urban modelling: Algorithms, calibrations, predictions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 1995. New ways of looking at cities. *Nature* 377 (6550): 574, doi: 10.1038/377574a0.
- \_\_\_\_\_. 1997. Cellular automata and urban form: A primer. *Journal of the American Planning Association* 63 (2): 266-74, doi: 10.1080/01944369708975918.
- \_\_\_\_\_. 2000. Less is more, more is different: Complexity, morphology, cities, and emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design* 27 (2): 167-8, doi: 10.1068/b2702ed.
- \_\_\_\_\_. 2005a. *Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based modeling, and fractals*. London: MIT Press.
- \_\_\_\_\_. 2005b. Agents, cells, and cities: New representational models for simulating multiscale urban dynamics. *Environment and Planning A* 37 (8): 1373-94, doi: 10.1068/a3784.
- \_\_\_\_\_. 2008a. The size, scale, and shape of cities. *Science* 319 (5864): 769-71, doi: 10.1126/science.1151419.
- \_\_\_\_\_. 2008b. The dilemmas of physical planning. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35 (5): 760-1, doi: 10.1068/b3505ed.
- \_\_\_\_\_. 2008c. Fifty years of urban modeling: Macro-statics to micro-dynamics. In *The dynamics of complex urban systems*, eds. S. Albeverio, D. Andrey, P. Giordano, and A. Vancheri, 1-20. Heidelberg, New York: Physica-Verlag, doi: 10.1007/978-3-7908-1937-3\_1.
- \_\_\_\_\_. 2009. Urban modeling. In *International encyclopedia of human geography*, eds. R. Kitchin, and N. Thrift, 51-58. London: Elsevier Science, doi: 10.1016/B978-008044910-4.01092-0.
- \_\_\_\_\_. 2012. Building a science of cities. *Cities* 29: S9-S16, doi: 10.1016/j.cities.2011.11.008.
- \_\_\_\_\_. 2013. *The new science of cities*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Batty, M., and P. Longley. 1994. *Fractal cities: A geometry of form and function*. London: Academic Press.
- Batty, M., and S. Marshall. 2012. The origins of complexity theory in cities and planning. In *Complexity theories of cities have come of age*, eds. J. Portugali, H. Meyer, E. Stolk, and E. Tan, 21-45. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, doi: 10.1007/978-3-642-24544-2\_3.
- Batty, M., and P. M. Torrens. 2005. Modelling and prediction in a complex world. *Futures* 37 (7): 745-66, doi: 10.1016/j.futures.2004.11.003.
- Batty, M., and Y. Xie. 1999. Self-organized criticality and urban development. *Discrete Dynamics in Nature and Society* 3 (2-3): 109-24, doi: 10.1155/S1026022699000151.
- Bertalanffy, L. V. 1968. *General systems theory: Foundations, development, applications*. New York: George Braziller.
- Bettencourt, L. M., J. Lobo, D. Helbing, C. Kühnert, and G. B. West. 2007. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (17): 7301-6, doi: 10.1073/pnas.0610172104.
- Bettencourt, L., and G. West. 2010. A unified theory of urban living. *Nature* 467 (7318): 912-3, doi: 10.1038/467912a.
- Bibby, P., and J. Shepherd. 2000. GIS, land use, and representation. *Environment and Planning B: Planning and Design* 27 (4): 583-98, doi: 10.1068/b2647.
- Bouchaud, J. P. 2008. Economics needs a scientific revolution. *Nature* 455 (7217): 1181, doi: 10.1038/4551181a.
- Bourne, L. S. ed. 1971. *Internal structure of the city: Readings on space and environment*. New York: Oxford University Press.
- Briassoulis, H. 2008. Land-use policy and planning, theorizing, and modeling: Lost in translation, found in complexity? *Environment and Planning B: Planning and Design* 35 (1): 16-33, doi: 10.1068/b32166.
- Brocas, I., and J. D. Carrillo, eds. 2003. *The psychology of economic decisions*. New York: Oxford University Press.
- Brown, J. H., and G. B. West, eds. 2000. *Scaling in biology*. New York: Oxford University Press.
- Buchanan, M. 2009. Economics: Meltdown modelling. *Nature* 460 (7256): 680-2, doi: 10.1038/460680a.
- Burgess, E. W. 1925. *The growth of the city: An introduction to a research project*. Reprinted In *Urban patterns: Studies in human ecology*, ed. G. A. Theodorson, 35-41, Revised Edition in 1982. University Park and London: Pennsylvania State University Press.
- Caruso, G., D. Peeters, J. Cavailhes, and M. Rounsevell. 2009. Space – time patterns of urban sprawl, a 1D cellular automata and microeconomic approach. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36 (6): 968-88, doi: 10.1068/b34009.
- Christaller, W. 1933. *Central places in southern Germany*. English Translation by C. W. Baskin in 1966. London: Prentice Hall Press.
- Clark, D. 1982. *Urban geography: An introductory guide*. London and Canberra: Croom Helm.

- Cohen, M. D., J. G. March, and J. P. Olsen. 1972. A garbage can model of organizational choice. *Administrative Science Quarterly* 17 (1): 1-25, doi: 10.2307/2392088.
- Colander, D. ed. 2000. *The complexity vision and the teaching of economics*. Northampton Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- . 2005. What economists teach and what economists do. *The Journal of Economic Education* 36 (3): 249-60, doi: 10.3200/JECE.36.3.249-260.
- Cowan, G. A. 1994. Conference opening remarks. In *Complexity: Metaphors, models, and reality*, eds. G. A. Cowan, D. Pines, and D. Meltzer, 1-4. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Cowan, G. A., D. Pines, and D. Meltzer. eds. 1994. *Complexity: Metaphors, models, and reality*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Deutsch, K. W. 1951. Mechanism, organism, and society: Some models in natural and social science. *Philosophy of Science* 18 (3): 230-52, doi: 10.1086/287157.
- Devlin, K. 1996. Good-bye descartes? *Mathematics Magazine* 69 (5): 344-9, doi: 10.2307/2691278.
- Dixit, A. K., and J. E. Stiglitz. 1977. Monopolistic competition and optimum product diversity. *American Economic Review* 67 (3): 297-308.
- Durlauf, S. N. 1998. What should policymakers know about economic complexity? *Washington Quarterly* 21 (1): 155-65, doi: 10.1080/01636609809550300.
- Eckel, C. C. 2004. Vernon Smith: Economics as a laboratory science. *The Journal of Socio-Economics* 33 (1): 15-28, doi: 10.1016/j.socloc.2003.12.007.
- Epstein, J. M. 2009. Modelling to contain pandemics. *Nature* 460 (7256): 687, doi: 10.1038/460687a.
- Faggini, M., and T. Lux, eds. 2009. *Coping with the complexity of economics*. Italy, Milano: Springer-Verlag.
- Farmer, J. D., and D. Foley. 2009. The economy needs agent-based modelling. *Nature* 460 (7256): 685-6, doi: 10.1038/460685a.
- Fischer, M. M., and P. Nijkamp, eds. 2013. *Handbook of regional science*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Fishman, R. 1977. *Urban utopias in the twentieth century: Ebenezer Howard, Frank Lloyd Right, and Le Corbusier*. New York: Basic Books.
- Frambach, H. 2012. Johann Heinrich von Thünen: A founder of modern economics. In *Handbook of the history of economic thought*, ed. J. G. Backhaus, 299-322. New York: Springer, doi: 10.1007/978-1-4419-8336-7\_11.
- Frankenberry, N. K. 2008. *The faith of scientists: In their own words*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Frey, H. 1999. *Designing the city: Towards a more sustainable urban form*. London and New York: Taylor and Francis Group, Spon Press.
- Fujita, M. 2010. The evolution of spatial economics: From Thünen to the new economic geography. *Japanese Economic Review* 61 (1): 1-32, doi: 10.1111/j.1468-5876.2009.00504.x.

- . 2012. Thünen and the new economic geography. *Regional Science and Urban Economics* 42 (6): 907-12, doi: 10.1016/j.regsciurbeco.2011.12.002.
- Fujita, M., P. R. Krugman, and A. J. Venables. 1999. *The spatial economy: Cities, regions and international trade*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fujita, M., and J. F. Thisse. 2002. *Economics of agglomeration: Cities, industrial location, and regional growth*. New York: Cambridge University Press.
- Gates, C. 2003. *Ancient cities: The archaeology of urban life in the ancient near east and Egypt, Greece, and Rome*. New York: Routledge.
- Geddes, P. 1915. *Cities in evolution: An introduction to the town planning movement and to the study of civics*. London: Williams and Norgate.
- Gottdiener, M., and R. Hutchison. 2011. *The new urban sociology*. Four editions. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Hall, P. 1988. *Cities of tomorrow: An intellectual history of city planning and design in the twentieth century*. New York: Blackwell.
- Han, H. Y., and S. K. Lai. 2011. Decision Network: A planning tool for making multiple, linked decisions. *Environment and Planning B: Planning and Design* 38: 115-28, doi: 10.1068/b35153.
- Hargroves, K. J., and M. H. Smith, eds. 2005. *The natural advantage of nations: Business opportunities, innovation and governance in the 21st century*. London: Earthscan.
- Harris, C. D., and E. L. Ullman. 1945. The nature of cities. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 242 (1): 7-17, doi: 10.1177/000271624524200103.
- Harrison, F. 1894. *The meaning of history and other historical pieces*. London: Macmillan and Co. and New York.
- Hoch, C. 2007. Making plans: Representation and intention. *Planning Theory* 6 (1): 16-35, doi: 10.1177/1473095207075148.
- Hoekstra, A. G., J. Kroc, and P. M. A. Sloot, eds. 2010. *Simulating complex systems by cellular automata*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Holland, J. H. 1995. *Hidden order: How adaptation builds complexity*. New York: Addison-Wesley.
- . 1998. *Emergence: From chaos to order*. New York: Oxford University Press.
- . 2012. *Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Hopkins, L. D. 2001. *Urban development: The logic of making plans*. Washington, D C: Island Press.
- Hotelling, H. 1929. Stability in competition. *Economic Journal* 39: 41-57, doi: 10.2307/2224214.
- Hoyt, H. 1939. *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*, Washington. D C: Federal Housing Administration.
- Huang, J. Y., and S. K. Lai. 2012. In search of the urban scaling exponent in urban growth and its implications: A case study in Taiwan. Paper presented at the 9th International Symposium and Scientific

Committee of Asia Institute of Urban Environment, Taipei, Taiwan.

- Isard, W. 1956. *Location and space-economy: A general theory relating to industrial location, market areas, land use, trade, and urban structure*. New York: The Technology Press of MIT and John Wiley & Sons.
- Jacobs, J. 1961. *The life and death of great American cities*. New York: Vintage Books.
- Kahneman, D. 2011. *Thinking, fast and slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux, doi: 10.1080/13669877.2013.766389.
- Kahneman, D., and A. Tversky. 1979. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica* 47: 263-91, doi: 10.2307/1914185.
- Kauffman, S. 1995. *At home in the universe: The search for the laws of self-organization and complexity*. New York: Oxford University Press.
- Keen, S. 2003. Standing on the toes of pygmies: Why econophysics must be careful of the economic foundations on which it builds. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 324 (1-2): 108-16.
- Kirchgässner, G. 2008. *Homo oeconomicus: The economic model of behaviour and its applications in economics and other social sciences*. New York: Springer.
- Kline, D. 2001. Positive feedback, lock-in, and environmental policy. *Policy Sciences* 34 (1): 95-107, doi: 10.1023/A:1010357309367.
- Kline, M. 1990. *Mathematical thought from ancient to modern times*. Three-Volume Paperback Edition. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Kostof, S. 1991. *The city shaped urban patterns and meaning throughout history*. London: Thames and Hudson.
- Krantz, D. H., and H. C. Kunreuther. 2007. Goals and plans in decision making. *Judgment and Decision Making* 2 (3): 137-68.
- Krugman, P. R. 1991. *Geography and trade*. Cambridge, MA: MIT Press.
- . 1996. *The self-organizing economy*. Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishers.
- Kühnert, C., D. Helbing, and G. B. West. 2006. Scaling laws in urban supply networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 363 (1): 96-103.
- Lai, S. K. 2003. On transition rules of complex structures in one-dimensional cellular automata: Some implications for urban change. *The Annals of Regional Science* 37 (2): 337-52, doi: 10.1007/s001680200116.
- . 2006a. A spatial garbage-can model. *Environment and Planning B: Planning and Design* 33 (1): 141-56, doi: 10.1068/b31111.
- . 2006b. Emergent macro-structures of path-dependent location adoption processes of firms. *The Annals of Regional Science* 40 (3): 545-58, doi: 10.1007/s00168-005-0054-2.
- Lai, S. K., and H. Y. Han. 2014. *Urban complexity and planning: Theories and computer simulations*. United

- Kingdom: Ashgate Publishers.
- Lai, S. K., H. Y. Han, and P. C. Ko. 2013. Are cities dissipative structures? *International Journal of Urban Sciences* 17 (1): 46-55, doi: 10.1080/12265934.2013.766504.
- Langton, C. G. 1984. Self-reproduction in cellular automata. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 10 (1): 135-44, doi: 10.1016/0167-2789(84)90256-2.
- Lepage, J. D. 2002. *Castles and fortified cities of medieval Europe: An illustrated history*. London: McFarland and Company.
- Lösch, A. 1954. *The economics of location*. Translated from the second revised edition by William H. Woglom (with the assistance of Wolfgang F. Stolper). New Haven and London: Yale University Press.
- Lynch, K. 1981. *A theory of good city form*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Macal, C. M., and M. J. North. 2010. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation* 4 (3): 151-62, doi: 10.1057/jos.2010.3.
- Mainzer, K. 2005. *Symmetry and complexity: The spirit and beauty of nonlinear science*. Singapore: World Scientific.
- . 2007. *Thinking in complexity: The computational dynamics of matter, mind, and mankind*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Manson, S., and D. O'Sullivan. 2006. Complexity theory in the study of space and place. *Environment and Planning A* 38 (4): 677-92, doi: 10.1068/a37100.
- Marcuzzo, M. C. 2003. The “first” imperfect competition revolution. In *A companion to the history of economic thought*, eds. W. J. Samuels, J. E. Biddle, and J. B. Davis, 294-307. Oxford: Blackwell, doi: 10.1002/9780470999059.ch19.
- Marshall, J. U. 1989. *The structure of urban systems*. Toronto: University of Toronto Press.
- Mayr, E. 1982. *The growth of biological thought: Diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, Mass, and London: Belknap Press of Harvard University Press.
- . 1997. *This is biology: The science of the living world*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mazzocchi, F. 2008. Complexity in biology: Exceeding the limits of reductionism and determinism using complexity theory. *EMBO reports* 9 (1): 10-4, doi: 10.1038/sj.embo.7401147.
- McElroy, T., and J. J. Seta. 2007. Framing the frame: How task goals determine the likelihood and direction of framing effects. *Judgment and Decision Making* 2 (3): 251-6.
- McMichael, S. L., and R. F. Bingham. 1923. *City growth and values*. Cleveland, Ohio: The Stanley McMichael Publishing Organization.
- Mills, E. S. 1972. *Studies in the structure of the urban economy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Mitchell, M. 2009. *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press.
- Mitchell, M., J. P. Crutchfield, and P. T. Hraber. 1994. Evolving cellular automata to perform computations: Mechanisms and impediments. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 75 (1): 361-91, doi: 10.1016/0167-2789(94)90293-3.

- Mohamed, R. 2006. The psychology of residential developers: Lessons from behavioral economics and additional explanations for satisficing. *Journal of Planning Education and Research* 26 (1): 28-37, doi: 10.1177/0739456X05282352.
- Morris, A. E. J. 1994. *History of urban form: Before the industrial revolutions*. Essex: Longman scientific and technical.
- Moses, L. N. 1958. Location and the theory of production. *The Quarterly Journal of Economics* 72 (2): 259-72, doi: 10.2307/1880599.
- Mumford, L. 1961. *The city in history: Its origins, its transformations, and its prospects*. New York: Houghton Mifflin Harcourt.
- Muth, R. 1969. *Cities and housing*. Chicago: University of Chicago Press.
- Nelson, H. J. 1971. The form and structure of cities: Urban growth patterns. In *Internal structure of the city: Readings on space and environment*, ed. L. S. Bourne, 75-83. New York: Oxford University Press.
- Newman, P., T. Beatley, and H. Boyer. 2009. *Resilient cities: Responding to peak oil and climate change*. Washington, DC: Island Press.
- Park, R. E. 1936a. Human ecology. *American Journal of Sociology* 42 (1): 1-15, doi: 10.1086/217327.
- . 1936b. Succession, an ecological concept. *American Sociological Review* 1 (2): 171-9, doi: 10.2307/2084475.
- . 1940. Physics and society. *The Canadian Journal of Economics and Political Science* 6 (2): 135-52, doi: 10.2307/137200.
- Park, R. E., E. W. Burgess, and R. D. McKenzie. 1967. *The city* (with an introduction by Morris Janowitz). Chicago: University of Chicago Press.
- Parker, S. 2004. *Urban theory and the urban experience: Encountering the city*. London: Routledge.
- Pirenne, H. 1969. *Medieval cities: Their origins and the revival of trade*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Portugali, J. 2000. *Self-organization and the city*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- . 2011. *Complexity, cognition and the city*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Portugali, J., H. Meyer, E. Stolk, and E. Tan, eds. 2012. *Complexity theories of cities have come of age: An overview with implications to urban planning and design*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Pounds, N. J. G. 2005. *The medieval city*. London: Greenwood Press.
- Pumain, D., ed. 2006. *Hierarchy in natural and social sciences*. The Netherlands, Dordrecht: Springer.
- Robson, B. T. 1969. *Urban analysis: A study of city structure with special reference to Sunderland*. London: Cambridge University Press.
- Samet, R. H. 2013. Complexity, the science of cities and long-range futures. *Futures* 47: 49-58, doi: 10.1016/j.futures.2013.01.006.
- Samuelson, P. A. 1983. Thünen at two hundred. *Journal of Economic Literature* 21 (4): 1468-88, doi: 10.1257/0022051041409057.

- Schwab, W. A. 1992. *The sociology of cities*. New Jersey: Prentice Hall.
- Shapin, S. 1996. *The scientific revolution*. Chicago: The University of Chicago Press, doi: 10.7208/chicago/9780226750224.001.0001.
- Simon, H. A. 1986. Rationality in psychology and economics. *Journal of Business* 59 (4): S209-S224, doi: 10.1086/296363.
- . 1998. *The sciences of the artificial*. Cambridge, MA: MIT press.
- . 1999. Can there be a science of complex systems?. In *Unifying themes in complex systems*, ed. Y. Bar-Yam, 3-14. Cambridge MA: Perseus Press.
- Smith, V. L. 2005. Behavioral economics research and the foundations of economics. *The Journal of Socio-Economics* 34 (2): 135-50.
- . 2008. *Rationality in economics: Constructivist and ecological Forms*. New York: Cambridge University Press, doi: 10.1016/j.socec.2004.09.003.
- Theodorson, G. A., ed. 1982. *Urban patterns: Studies in human ecology*. Revised edition. University Park and London: Pennsylvania State University Press.
- Tversky, A., and D. Kahneman. 1981. The framing of decisions and the psychology of choice. *Science* 211 (4481): 453-8, doi: 10.1126/science.7455683.
- . 1992. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty* 5 (4): 297-323, doi: 10.1007/BF00122574.
- Van de Mieroop, M. 1997. *The ancient mesopotamian city*. New York: Oxford University Press.
- Von Neumann, J., and O. Morgenstern. 1953. *Theory of games and economic behavior*. Princeton: Princeton University Press.
- Von Thünen, J. H. 1826. *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Hamburg: Perthes. Translated from German by C. M. Wartenberg in 1966, *Von Thünen's Isolated State*, Oxford: Pergamon Press.
- Waldrop, M. M. 1992. *Complexity: The emerging science and the edge of order and chaos*. New York: Simon and Schuster.
- Walker, D. A. 2003. Early general equilibrium economics: Walras, Pareto, and Cassel. In *A companion to the history of economic thought*, eds. W. J. Samuels, J. E. Biddle, and J. B. Davis, 278-93. Oxford: Blackwell, doi: 10.1002/9780470999059.ch18.
- Wang, L. G., H. Y. Han, and S. K. Lai. 2014. Do plans contain urban sprawl? A comparison of Beijing and Taipei. *Habitat International* 42: 121-30, doi: 10.1016/j.habitatint.2013.11.001.
- Weaver, W. 1948. Science and complexity. *American Scientist* 36 (4): 536-44.
- Webb, R. 2007. Social science: The urban organism. *Nature* 446 (7138): 869, doi: 10.1038/446869a.
- Weber, A. 1929. *Alfred Weber's theory of the location of industries*. English edition (with Introduction and Notes by C. J. Friedrich). Chicago, Illinois: The University of Chicago Press.
- Welter, V. M. 2002. *Biopolis: Patrick Geddes and the city of life*. Cambridge, MA: MIT Press.

West, G. B., and J. H. Brown. 2005. The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. *Journal of Experimental Biology* 208 (9): 1575-92, doi: 10.1242/jeb.01589.

West, G. B., J. H. Brown, and B. J. Enquist. 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 276 (5309): 122-6, doi: 10.1126/science.276.5309.122.

———. 1999. The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms. *Science* 284 (5420): 1677-9, doi: 10.1126/science.284.5420.1677.

Wilson, A. 2012. *The science of cities and regions*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, doi: 10.1007/978-94-007-2266-8.

Wolfram, S. 2002. *A new kind of science*. Champaign, Illinois: Wolfram Media.

Yoffee, N. 2005. *Myths of the archaic state: Evolution of the earliest cities, states, and civilizations*. New York: Cambridge University Press.

Yoffee, N., and G. L. Cowgill. eds. 1988. *The collapse of ancient states and civilizations*. Tucson: University of Arizona Press.

2014年10月23日 收稿

2015年2月17日 修正

2015年4月24日 接受