

第二章 文獻回顧

本研究中之文獻回顧包括「地景變遷與二氧化碳排放及吸存」、「地景變遷與空間系統模擬」與「空間系統模擬方法之發展」等部分。其中，主要藉由地景變遷與社經代謝作用的探討，分析淡水鎮整體發展脈絡與挑戰。此外於全球氣候變遷(global climate change)觀點下，探討淡水鎮過往的地景變遷與二氧化碳排放及吸存之空間系統模型，並找出適合淡水鎮未來的空間發展政策。

第一節 地景變遷與二氧化碳排放及吸存之衝擊

過往針對空間系統模擬方法在氣候變遷(Gold Climate Change)、地景變遷(Landscape Change)與社經代謝作用(Socio-economic metabolism)空間型態分析之能力，藉由李俊霖(2008)的台北都會區 SEMLUC 空間系統模型的模擬已被證實。然而，其方法對於社經代謝作用中的二氧化碳放及吸存(Carbon Dioxide Emission and Sequestration)之觀點卻未被強調出來，因此，地景變遷與二氧化碳排放及吸存之空間上的探討，仍有待進一步探討。

一、地景變遷與二氧化碳之發展領域與觀點

Odum and Odum(2002)以系統生態學與系統模擬方法為基礎，以土地利用型態輪替(rotation)與二氧化碳排放及吸存的觀點，分別提出探討地景變遷與二氧化碳的系統模型。前者主要將土地利用視為一種維持系統運作所必須之存量(storage)，此一存量與系統中的各種資產累積、資源消耗、廢棄物產生，以及其他土地利用面積存量之間均具有密切之關連性。而後者，則以全世界為探討尺度，考量土地與海洋中各種二氧化碳的產生與分解，建立二氧化碳存量模型。此兩模型的提出雖僅為示範之案例，但也為從系統觀點探討地景變遷、二氧化碳排放與吸存建立基礎(李俊霖，2009)。

因此，本研究首先針對地景變遷與二氧化碳排放與吸存之間的衝擊為基礎，並以空間系統模擬為方法，提出土地利用型態與二氧化碳排放及吸存的分析架構(詳見表 2-1)，做為未來研究的基礎。

表 2-1 土地利用型態與二氧化碳排放及吸存之衝擊研究彙整表

作者 (年代)	題目	論述焦點	研究 層面
任睿秋等人 (2000)	二氧化碳的儲存及再利用技術之探討	該文說明二氧化碳儲存與再利用目前仍處於實驗階段，並藉由文獻得知二氧化碳可儲存於海洋或是枯竭油田與天然氣田；植林及藻類固碳方式可能受到地理條件及實用效率上的限制；利用化學方式收集則會產生成本太高的問題。	技術
李國忠等人 (2000)	森林資源二氧化碳吸存與碳排放權交易	該文依據第三次台灣森林資源及土地使用調查結果，台灣森林面積佔全島面積的58.53%，蓄積量為358.7 百萬立方公尺，對吸存大氣二氧化碳即具有相當大的貢獻，因此森林資源對大氣二氧化碳吸存、改善溫室效應值得重視。	造林 植樹 (綠 化)
Krcmar et al (2001)	Carbon sequestration and land management under uncertainty	以模糊線性規劃方式探討土地管理(land management)與碳封存(Carbon sequestration)之間不確定因素，提出最佳土地利用與森林管理策略。	管理
Ehman et al. (2002)	An integrated GIS and modeling approach for assessing the transient response of forests of the southern Great Lakes region to a doubled CO2 climate	整合Geographic information system (GIS)及森林動態模式，評估大氣中CO2 濃度變成兩倍情況下，森林中物種之組成與氣候變遷之效應。其考量包括：物種等級、森林空間配置在該地方的土地利用、區域性的生物多樣性。主要利用森林動態模式結合GIS 系統，透過相關資料之蒐集去分析及模擬當地氣候的變化和區域林地分布及成長，估計林地適當種植面積。	情境 模擬
Nowak and Crane (2002)	Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA	以都市森林資料計算森林對二氧化碳吸收量，共貯存了700 萬噸的碳，平均固碳效率，約每年可吸存22.8百萬噸，結果可提供評估都會綠地對CO2 削減貢獻之重要依據。	存量
Wong and	The land-use	研究中利用動態計算平衡(dynamic computable	模擬

Alavalapati (2003)	effects of a forest carbon policy in the US	general equilibrium, CGE)所建立之模式，模擬美國參與或不參與全球造林固碳計畫對國際經濟福利之影響及美國本土各部門間土地利用分布之影響，其結果發現美國參與對國內農業及森林部門在經濟上將有正面效益。	
林孟儒(2002)	因應全球二氧化碳減量生態趨勢之都市綠化政策研究-以台北市為例	有鑑於全球二氧化碳濃度升高造成環境氣候變遷，促使國際間訂定類似氣候變化綱要公約藉以抑制二氧化碳排放回歸至1990年標準；以及陳陵援教授在全國能源會議中指出「光合作用自然生長之植物，是目前二氧化碳減量方法中唯一積極固碳策略」，因此本研究導入「都市區域之生態平衡」理念，並參照國際間歷次對於二氧化碳減量相關決議，探討都市空間綠化政策在因應全球環境議題之改善策略。研究方式主要藉由實地量測都市二氧化碳濃度數值，透過Arc View軟體繪製該氣體在都市空間的分佈圖，並利用濃度轉換重量之公式演算出都市空間所需增設綠化面積以及訂定綠覆率、綠化分區等規範，提供都市規劃與管制之參考。	都市 規劃
黃凱洛(2003)	杉木人工林生長量與碳吸存之研究	主要在於探討杉木人工林生長收穫及生物量與碳吸存之相關問題，其內容包括林分直徑分布、單株林木之生長模擬、各部位生物量與胸徑之關係及其隨時間之變化、不同部位碳含量與碳氮比之分析及相關關係式之建立，由以上所得之資料，提供森林經營具體之資訊。	管理
楊盛行等人 (2003)	台灣農業生產時二氧化碳排放量測及減量對策	分別從台灣北部、中部、南部及東部於田間實地監測水稻田、濕地、旱田、蔬菜園、森林土壤、掩埋場、推肥廠、反芻動物及交通運輸之甲烷、氧化亞氮、二氧化碳等溫室氣體之產生情形、削弱狀況及減量方法，並於實驗室中探討環境因子對溫室氣體釋逸、削弱與減量之影響。另外也測定台灣南部河川、湖泊、淺海之甲烷釋出量與溫室氣體含量及通量。	存量
呂昌祺(2004)	地方政府之溫室氣體排放量推估及管制策略分析	能源及資源的開發及消耗，皆造成可觀的溫室氣體，故地方政府的發展規劃必須掌握正確的排放量推估，進一步規劃相關管制策略。	政策 發展
吳俊賢(2005)	作物之二氧化碳吸存效果與能源產出效率	探討種植能源作物之二氧化碳吸存效果與能源產出效率及台灣地區栽植能源作物之可能性，針對適合台灣地區栽植之能源作物樹種，分析林木對增加	存量

		二氧化碳吸存量及替代化石燃料燃燒排放所產生的能量及相對減少。	
吳俊賢等人 (2005)	森林能源作物之二氧化碳吸存效果與能源產出效率	主要探討種植能源作物之二氧化碳吸存效果與能源產出效率及台灣地區栽植能源作物之可行性，針對適合台灣地區栽植之能源作物樹種，銀合歡、桉樹、相思樹，分析林木對增加二氧化碳吸存量及替代化石燃料燃燒排放所產生的能量及相對減少的二氧化碳排放量。	存量
姚銘輝等人 (2006)	台灣水稻田溫室氣體排放之評估	本研究目的在評估DNDC (De Nitrification and De Composition)模式在不同耕作管理及氣候情境下，對於台灣水稻田溫室氣體排放之估算之能力。經與實測值比較之結果顯示，水稻田二氧化碳及甲烷排放量以DNDC模式模擬可得到符合實際結果，同時，由土壤質地、水管理及氣候情境的敏感度分析，可瞭解溫室氣體排放的潛勢。	模擬方法
黃國倉(2006)	辦公建築生命週期節能與二氧化碳減量評估之研究	本研究針對辦公建築生命週期之個階段進行完整之二氧化碳排放量評估，並以日常節能之觀點提出二氧化碳減量之對策，此外，本文建構了辦公室建築生命週期CO ₂ 之評估系統，使得建築從業人員得以在建築設計階段可估算建築對地球環境之衝擊程度，進而將評估結果反應致建築設計上。	設計規則
黃群達(2006)	住宅與商業部門能源消費及二氧化碳排放特性與趨勢變動分析	利用因素分解及脫鈎指標分析方法，以住宅部門及商業部門為探討對象。首先針對住商部門之歷年能源消費及CO ₂ 排放變動趨勢進行探討，並藉由因素分解法找出影響CO ₂ 排放之關鍵因子；同時再以脫鈎指標分析住商部門在GDP、能源及CO ₂ 三者間的發展關係；最後比較數個OECD國家商業部門CO ₂ 排放變動的主要因素影響程度。	使用強度
IPCC(2007)	未來氣候變遷研究和觀察：GCOS、WCRP和IGBP從IPCC第四次評估報告延伸	若大氣中的溫室氣體含量一直持續升高，造成的影響將嚴重改變全球環境與經濟。依據IPCC科學家的數據研究表示，全球二氧化碳濃度自工業革命前為280ppm，1992年已增加至360ppm，預計到2100年二氧化碳濃度將增加至540-970ppm。2100年的全球平均氣溫將比1990年高出0.9℃到3.5℃。	情境模擬
林世強(2007)	以二氧化碳排放量探討島嶼之永續發展策略	以二氧化碳排放量探討島嶼之永續發展策略，利用島嶼建設資材之使用量與民生能源之消費量推算CO ₂ 之排放量，並且以島嶼綠地面積與植被種類推算CO ₂ 之固定量，並且研擬金門產業體質與消	永續

		費行為之調整，推動閒置空間再利用，達到永續發展之目標。	
賴爽云(2007)	遙測應用於高雄市都市林碳吸存之評估	其研究旨在了解都市林的碳吸存量、林分結構及其所扮演的角色，並探討影響碳吸存量的主要因子，並以高雄市為其研究區域。其研究透過62個地面樣區調查，以IPCC評估法與衛星影像評估法來了解其都市林之碳吸	存量
譚運籌(2007)	新竹林區南庄事業區永久樣區之森林探吸存效應	本研究針對新竹林區南庄事業區之森林資源(8,711.87 ha)，以1998年與2003年之永久樣區調查資料，探討八種主要林型之生長情形與森林動態，進而建構碳吸存推估模式推估各林型之碳吸存效應。	存量
林佳民(2008)	以最佳化土地利用策略控制區域二氧化碳排放之研究	我國CO ₂ 排放量近十餘年來均呈現增加之趨勢，自1990年至2005年，二氧化碳排放量由113,420千公噸增加至271,365千公噸，呈倍數的成長。人均二氧化碳排放量也由5.54公噸提升至2005年12.52公噸。	管理

資料來源：經本研究整理。

二、地景變遷與二氧化碳之探討方法

根據上述過往的土地利用型態與二氧化碳間之研究資料，多數強調型態如何影響二氧化碳排放及吸存之能力。其研究報告顯示二氧化碳排放及吸存之能力，大多以長期實際調查法的數據表示，其中所耗費的時間與人力等相關資源，將隨著調查難度相對提升。針對土地利用型態與二氧化碳間評估與模擬等相關研究，多數以單一型態考量，較無全面的探討。因此，如何就全面性考量，搭配時空的轉變，進而探討地景變遷與二氧化碳間之衝擊性，與過往探討地景變遷與二氧化碳多以下對上的評估方式(地景變遷如何影響二氧化碳變動)，如何改為上對下的評估方式(因應全球氣候變遷對於土地變遷的影響)，都是一個值得省思的面向。

三、地景變遷與二氧化碳排放及吸存之係數

為了初步估算不同的土地利用型態，二氧化碳排放及吸存之能力，因此針對

國內外相關研究結果進行蒐集與篩選。首先將地景利用型態區分為自然地區、農業地區與都市地區，進而依各區域使用型態估算其係數(詳見附錄四)。

第二節 地景變遷與空間系統模型

本節首先針對地景變遷之理論與發展所遇的瓶頸，透過近年來主要的地景變遷模型的整理與分析，探討其分類與範疇，並進一步詳細比較主要的地景變遷模型的發展趨勢與困難點，並針對其特性與優勢加以分析，以挑選適合地景變遷、社經代謝作用與二氧化碳排放及吸存之模型。

一、地景變遷

地景變遷(包含土地覆蓋(land-cover)與土地利用(land-use))是一個受生態經濟驅動力(socio-economic drivers)與生物物理條件(biophysical conditions)間複雜互動所影響的過程，而地景變遷則是一種考量土地利用與土地覆蓋變遷系統動態(system dynamics)與自我組織(self-organizing)特性的跨學科領域(Turner et al.,1990；Lambin et al., 1999；Barredo et al., 2003；Verburg et al., 2004a)。在 IHDP 與 IGBP 的支持下，LUCC 引領了發展地景變遷模型與探討地景變遷因素的風潮，並且改良了土地利用與土地覆蓋變遷的預測模型(predictive models)(Lambin et al.,1999；Lambin and Geust,2006)。

二、地景變遷模型分類

近年來，國際間各式地景變遷的模型開發方法論陸續被提出來，其中以統計模型(statistical models)、行為者基礎模型(agent-based models)和細胞自動體(cellular automata)為國際間主要探討地景變遷模型，而空間系統模型(spatial system models)雖未及上述三種模型，但於地景變遷之時空上探討亦占有一席之地。

地。以下為各類模型之介紹與初步探討參見表 2-2。

表 2-2 地景變遷模型分析

模型名稱	模型概述	理論基礎
統計模型 Statistical Models	模擬都市土地利用時統計技術也是相當常見的方法，其包含了各種回歸技術以應用在空間上，或是更適合的空間統計方法。然而，除非他們能夠與理論架構充分結合，要不然統計技術對於決策制訂與社會現象也許只能輕描淡寫。部分空間計量經濟學者成功的結合理論與統計技術。如：Serneels and Lambin (2001)。	機率論
細胞自動體 Cellular Automata	早期的細胞自動體(CA)起源自生命遊戲後，以簡單的網格演化規則(transition rule)由下而上(bottom-up)討論各種可能的土地利用演化型態，其主要考量的是相鄰網格(neighborhood cell)的狀態。近來，機率規則、自我修正最大效用羅斯特函式等觀念已逐步融入，以增加其真實性。Tobler(1979)是第一個建議以 CA 模型模擬地理過程的人，隨後開啟了一些以 CA 為基礎的研究。早期模擬生態過程的 CA 用在牧場的動態研究、物種的組成、森林的繁衍、氣候變遷下全球土地利用(覆蓋)變遷與生物現象的研究上。	複雜理論、碎形理論
行為者基礎模型 Agent-Based Models	行為者是模型(ABM)中重要的元素，且其由數個特徵所界定而成，包括：其具有自主性(autonomous)、其共享整個環境並在環境中交流與互動、其透過行為與環境間的整合決策。行為者模型已經被用來描繪原子、生物細胞、動物、人類與組織。近來，更用來與 CA 結合建構都市土地利用模型。如：Parker et al. (2003)、Loibl and Toetzer(2003)與 Matthews(2006)。	複雜理論、理性選擇理論
空間系統模型 Spatial System Models	系統模型描繪出資訊、物質與能量的儲存與流動，並以一系列函數與資料結構的微分方程式呈現，且將時間打破為離散的步驟使來描繪回饋作用。人類與生態系統間的互動能夠透過這些模型呈現，但這必須依賴精確的數據來描繪因果與機能的關係，早期這類模型很難提供空間的關係，近十年透過網格式 GIS 已可探討都市土地利用的空間型態。如：Boumans et al. (2001)與 Costanza and Voinov(2004)。	一般系統理論、碎形理論

資料來源：李俊霖(2008)，經本研究彙整。

三、地景變遷模型的發展脈絡與困境

由於建構模型是一種目標導向(goal-driven)的過程，不同研究目標需要不同

的模型，並沒有一種模型建構方法絕對優於其他方法(Voinov et al., 2004; Lambin and Geist, 2006)。因此，本研究將各類模型之發展脈絡、理論基礎、方法、假設、發展趨勢、困難以及相關研究，彙整如表 2-3，作為探討基礎，以找出適合用來探討地景變遷與二氧化碳排放及吸存之模型方法。

過往個別的地景變遷主要建立方法以統計模型為主，其方法與應用上因求解的瓶頸、真實世界不相符合的假設，空間動態與探討能力不足等，因此多為整體性的分析且地景變遷模型建立上多為輔助角色(提供統計檢定技術與經濟理論基礎)或與其他網格式 GIS 進行結合。而在電腦科技與 GIS 技術大幅的進步下，細胞自動體(CA)、行為者基礎模型(ABM)等模型技術受到相對的重視。

其中，行為者基礎模型(ABM)是以由下而上概念建構的模型；LUCC 領域中地景變遷研究，開始以各類地理資訊系統技術(如：遙測技術與行為者基礎的概念)建立複雜的模型，藉以詳細討論地景變遷與代謝作用的關連，如：Pauleit and Duhme(2000)即以這樣的方法建立一套描繪都市土地利用單元的系統，以建構都市系統的社會經濟表現與其他不同次系統(如：住宅、商業與工業開發)間的關連，並分析這些次系統間的環境衝擊；此外，透過資料的聚合以描繪在不同都市發展策略下都市代謝作用大致的輪廓。此外，早期的細胞自動體(CA)以簡單的網格演化規則(transition rule)由下而上討論各種可能的地景變遷，其主要考量，是以相鄰網格(neighborhood cell)的狀態，亦不符合社經代謝作用中物質、能量的流動與累積的概念。後續試圖與其他研究方法整合，如：Markov 細胞自動體(Markov-cellular automaton, M-CA)(Silvertown et al., 1992; Li and Reynolds, 1997)，以強化改良傳統 CA 的功能，後續亦在 CA 中也開始加入了各種影響地景變遷的變數與其他模型，使得 CA 不再是單純的演化規則(Engelen et al., 1995; Clarke and Gaydos, 1998; Loibl and Toetzer, 2003)。近年來，在具有空間演化能力的 CA 與考量空間互動決策的 ABM 之整合下，引導了地景變遷模擬模型發展趨勢，包括國

際上的 IHDP、IGBP 與國內的國科會，都開始支持了各種 CA 與 ABM 模型整合建構都市土地利用模擬模型的計畫，使其成為由下而上的地景變遷模型發展主流 (Parker et al., 2003; Matthews, 2006)。

然而，這種模型往往以網格之間的轉換規則與行為者決策函數的建立為基礎，而難以考量社會經濟系統與環境生態系統間的物質與能量流動與衝擊(李俊霖，2008)。因此，本研究中以空間系統模型做為主要研究方法，以一般系統理論為觀點，強調系統是可以被分割的，且各種尺度下的分割方式，均可發現同樣的型態的系統載運作。

表 2-3 地景變遷模型彙整表

模型種類	發展趨勢與困難	相關研究	優缺點
統計模型 Statistical Models	1.趨勢：(1)理論上與其他經濟理論結合。 (2)應用上，透過 GIS 賦予空間屬性。 2.困境：未與經濟理論結合之統計模型，僅能對決策制訂與社會現象做表面的描述。	1.Mertens and Lambin(1997)將回歸技術結合 GIS 應用在空間上。 2.Chomitz and Gray(1996)與 Munroe et al.(2001)，納入經濟理論建立統計模型。 3.因子分析、群落分析、迴歸分析等方法也常被用來探討土地利用的變遷(Verburg et al., 1999; Serneels and Lambin, 2001; Verburg et al., 2004; Rasul et al., 2004)	地景變遷過程，所伴隨的經濟層面往往被忽略，而此方法論可結合經濟理論基礎並於空間上做一討論；但，其討論面向僅止於表面的探討(為 GIS 屬性欄位)，並無法真正落實時空間上的規劃。
細胞自動體 Cellular Automata	1.趨勢：(1)理論上與行為者模型結合、加入局部有限理性選擇理論。(2)應用上空間單元可以是不規則形狀；狀態不必單一屬性；附近地區之範圍不必固定；轉換規則不必唯一；系統可以是開放的；與行為者模型整合；與其他人口、經濟、環境、生態模式互動。	1.Tobler(1979)首先建議以 CA 模型模擬地理過程。 2.Alcamo(1994)以 CA 模擬氣候變遷下全球土地利用(覆蓋)變遷。 2.Li and Reynolds(1997)整合馬可夫模型與 CA 建構出 LUCC 模型。 3.Wu(1998)，以 CA 描繪都市型態的演化。 4.Benenson(1998)鬆綁了原有的	其方法論具備空間演化的能力，且後續改良結合了行為者基礎模型觀點，加強空間上互動性；但，在於地景變遷過程中，其物質與能量的流動與累積卻無法就此方法論加以呈現，而失去內部的真實

	<p>2.困境： 模擬過程中難以掌握決策的影響性。傳統的 CA 並無法充分反映出空間上的真實動態關係。補救的方法是以非均一的轉換規則，網格間的連結能夠動態的變遷。</p>	<p>網格架構而更貼近真實世界。 4. Batty et al. (1999)以CA模型評估都市發展的密度限制之角色。 5.Loibl and Toetzer(2003)在 CA 中加入各種影響土地利用變遷的變數與其他模型，使得 CA 不再是單純的演化規則。</p>	<p>性。</p>
<p>行為者 基礎模型 Agent-Based Models</p>	<p>1.趨勢：(1)理論上，加入局部有限理性理論，使行為者決策更貼近真實世界。 (2)應用上，與 CA 整合並結合遙測技術。 2.困境：(1)缺乏模型建構的程序典範。(2)缺乏局部有限理性理論以外的互動行為的理論支持，容易淪為色彩鮮豔的遊戲。</p>	<p>1.Gigerenzer and Todd(1999)體認到環境與人類決策的複雜性，引用有限理性(bounded rationality)理論。 2.行為者已經被用來描繪原子、生物細胞、動物、人類與組織(Weiss, 1999)。 3.Pauleit and Duhme(2000)以行為者基礎模型建立一套描繪都市土地覆蓋單元的系統，以建構都市系統的社會經濟表現與其他不同次系統間的關連。</p>	<p>現實社會中，其行為者的決策往往會決定地景變遷的趨勢，此方法比起其他方法論更貼近現實世界；但也因為過於人性化的方式，導致忽略理性層面，而過於主觀。</p>
<p>空間系 統模型 Spatial System Models</p>	<p>1.趨勢：(1)理論上以一般系統理論的觀點出發，強調系統可被分割，各種尺度的分割方式均可發現同樣型態的系統在運作。(2)應用上，與 GIS 整合，建立空間系統模型(spatial system model)。動態參數的設計，補足靜態參數不符合真實世界運作的困境。 2.困境：(1)系統模型中各元素互動過程的建立，缺乏有力的理論基礎支持。(2)地方的異質性難以呈現。(3)網格間互動過程難以考慮。</p>	<p>1. Costanza et al. (1990) 將建構於 STELLA 軟體下的海岸地景動態模型，以空間網格的形式進行模型計算。 2. Jordao et al. (1997) 將動態流域管理模型與 Idrisi 整合。 Gilbert and Troitzsch(1999)以系統模型描繪出資訊、物質與能量的儲存與流動。 3. Voinov et al. (1999) 針對 Patuxent 河的地景建構 Patuxent 地景模型，來模擬河岸地區的生態過程。 4. Boumans et al. (2001) 開發 Pat-GEM 模型 (Patuxent General Ecosystem Model, Pat-GEM)，來模擬區域社經行為中的物理與生物動態及其互動，以估計土地</p>	<p>由於空間系統模型是以生態理論與系統理論為基礎發展而來，因此對於地景變遷上以網格方式，強調出其物質與能量的流動與累積。且，經由 Lee et al.,(2008)SEMLUC 空間系統模型的建立，改良了外界對於同質性、互動性的批評，使得空間系統模型更加落實於探討地景變遷。然而，本研究，所針對二氧化碳排放及吸存，並不局限</p>

		<p>發展型態及人類決策可能造成的衝擊。</p> <p>5. Huang et al. (2007) 於 Idrisi 中開發空間系統模型，探討台北盆地之都市能量階層性之假說。</p> <p>6. Lee et al. (2008)，以 SEMLUC 空間系統模型，突破其空間同質性、空間缺乏互動機制等限制。</p>	<p>於某一個特定空間上，且不同網格間的二氧化碳流動也較難以估計，此為未來待突破點。</p>
--	--	--	--

資料來源：李俊霖(2008)，經本研究彙整。

第三節 空間系統模型之發展

一、系統模擬

以一般系統理論為基礎觀點，用來探討系統內組成元素之時空的方法。早期以發展各種描繪系統概念的繪圖技術，如：動態符號與能量系統符號。後續，Odum(1983,2000)進一步提出，透過相似的方程式來描繪動態經濟與生態系統。而，此系統方程式的提出，不僅提供更進一步探討系統內部元素互動關係之基礎，也成為系統模擬方法的應用跨學門領域議題探討的關鍵。因此黃書禮(2003)提及，系統模擬被廣泛運用於探討全球氣候變遷對於環境系統與都市系統的影響與衝擊。而，此時的觀點僅限於巨觀的時間動態分析，未有時空的探討。

系統模擬領域主要在 Forrester(1968)與 Odum(1983)的引導下，發展出系統動態模型(system dynamic model)與系統生態模型(system ecology model)兩種模型；在建構的程式與方法上，系統動態模型與系統生態模型具有極為類似的架構，均以一般系統理論為基礎透過概念圖形的設計建立系統，並利用數學方程式描繪出系統內部的動態過程以進行電腦模擬。其中，較顯著的相異之處，在於系統生態模型強調以能量的觀點出發，探討原先系統動態模型中無法考量的具涵能量(embodied energy)與熱散失，另外，亦認為系統具有自催化(autocatalytic)的特性而會趨向穩定狀態 (李俊霖，2008)。

以系統觀點而言，系統中各組成元素間存在著許多互動過程，而自我組織(self-organization)功能指的是這些互動過程，會為了使該系統能獲得更多的能量而以較佳的方式利用各種資源(Odum, Odum, and Brown, 1993)。以能量系統圖呈現自我組織的概念，參見圖 2-1 所示，系統中的儲存(Q)主要透過物質與能量的回饋(feedback)作用，進一步驅使更多能量的流入系統與儲存。

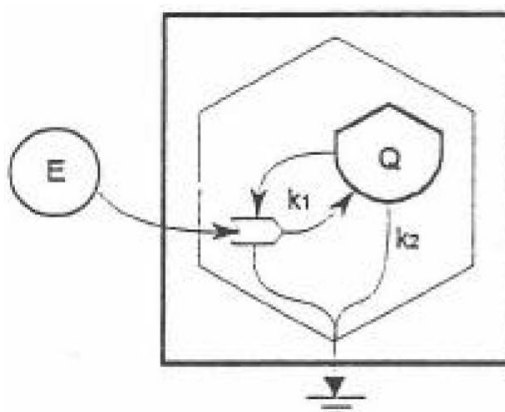


圖 2-1 自我組織與回饋作用 (資料來源：Odum, 1983)

二、空間系統模型之發展

過往系統生態模型於空間資訊呈現方面往往較為薄弱，經由 Ford(1999)，將系統模擬模型與 GIS 做一整合，已大幅增加系統模擬模型提供訊息與其對於現象詮釋的能力。後續，Ford(1999)與 Odum and Odum(2000)建立典型空間模擬(spatial simulation)方式：「幾何區塊」(geometric blocks)，進行空間維度的系統模擬，強調系統內各種物質、能量的累積與流動，因此適合依據系統模擬的架構基礎建立可用來模擬地景變遷與社經代謝作用的空間動態關連性。且，空間模擬的概念之可行性，在 Meinhardt(1982)能量生產與消費的空間型態的研究被證實，且被用來探討有機體的空間發展結構與型態(Richardson, 1987)。因此，自從整合 GIS 與系統模擬的概念來進行空間模擬被提出來，空間系統模型已經成為模擬地景變遷的一個新選擇(Boumans et al., 2001; Costanza and Voinov, 2004; Huang et al., 2007)。過往針對過於簡化的空間互動機制(spatial interaction mechanisms)與忽略地方異

質性(local heterogeneity)，侷限了這類模型的解釋能力(Agarwal et al., 2002; Park et al., 2003; Huang et al., 2007) ，經由 Lee et al., (2008) 的 SEMLUC 空間系統模型中有了突破。

三、空間系統模型之改良

空間系統模型的模型結構與系統方程式，目前被應用在許多地景變遷的研究中(Boumans et al., 2001; Costanza and Voinov, 2004)。然而，改善過的空間系統模擬仍面臨了(一)空間同質性(spatial homogeneity)的假設；(二)過於簡化的空間互動(spatial interaction)機制；(三)相鄰網格(neighboring cells)間的影響；(四)地景變遷(landscape change)的限制與(五)模型有效性(validation)評估等問題。

因此 Lee et al., (2008)針對空間系統模擬中空間同質性評估方法等缺點，加以改良後提出一套空間系統模型的開發程序。此一空間系統模型開發程序的提出，不僅空間系統模擬發展建立基礎，亦解決了均質性的假說以及空間互動機制掌握較弱的缺點，並於所建構 SEMLUC 空間系統模型中加以證實。反觀，本研究所探討地景變遷與二氧化碳排放及吸存之衝擊，應用空間系統模擬方法，全面性的探討其空間型態，卻可能因(一)各種地景利用型態的二氧化碳排放與吸存，並不會侷限在某一個特定的網格空間中，而是以動態方式存在於空間中；(二)不同網格之二氧化碳的流動難以精確進行模擬。因此，上述兩點，為後續探討時必須加以考量的層面。

第四節 小結

近年來，隨著全球氣候變遷(global climate change)等議題的受到重視，氣候變遷對於環境與經濟系統的衝擊開始被廣泛討論著，因此延伸出有關地景變遷與二氧化碳排放及吸存等相關議題，而這些議題的提出，相對帶動了不同方法論的

提出與改善。

隨著電腦硬體、地理資訊系統技術的進步與 LUCC 的推動，各種地景變遷模型快速的被發展，其中又以統計模型、細胞自動體(CA)與行為者基礎(ABM)模型最受到重視。然而，由於地景變遷系統是一種涉及各種不同領域學門的複雜系統，因此，地景變遷假說與理論基礎的發展受到限制。以系統模擬為基礎的空間系統模型，其具有以系統觀點整合不同學門、進行情境模擬以及發展假說與理論的優勢，加上原受限於方法論上的缺點(難以反映出空間異質性、空間互動過於簡化、缺乏有效性評估方法)，經 Lee et al.(2008)改良過後，其地景變遷模型，相較他模型具備空間上的討論，但卻因其入門檻較高(需運用 GIS 技術)，而未被廣泛使用。此外，空間系統模擬方法發展社經代謝作用與地景變遷之空間系統模型，將能更進一步分析地景變遷、社經代謝作用與二氧化碳排放及吸存之空間型態演化。然而，首先必須先克服於空間系統模擬方法中，其氣體的流動與估算等缺點。

因此，後章中首先將針對空間系統模擬之方法論進行詳細之分析，並提出方法論上之缺點與改良方法。而本研究後續即以此改良方法為基礎，配合生物物理與系統基礎觀點建構地景變遷、社經代謝作用與二氧化碳排放及吸存之系統模型，於 ArcGIS 軟體 Model Builder 中建構「台北縣淡水鎮地景變遷模型」，一方面針對過去都市能量假說加以驗證，另一方面進一步探討地景變遷、資源消耗、二氧化碳排放與吸存在空間型態上之相互影響關係，並據以發展地景變遷與二氧化碳排放及吸存之空間互動機制，以試圖回應 IPCC、IHDP 與 LUCC 於該領域中所提出之問題「地景變遷與二氧化碳排放及吸存之關連性」、「地景變遷如何影響二氧化碳排放與吸存？」與「地景變遷對二氧化碳排放及吸存將產生何種衝擊？」。