



整體觀容受力思考—永續都市的管理與決策能力

陳美智*

摘要

為追求經濟成長，開發土地必然成為都市發展重要途徑。台灣屬於多山島嶼地理環境，在可供發展土地有限的都市發展決策過程，必須兼顧經濟、社會與環境等健全發展，以保全都市的永續發展。鑑於都市發展政策決定土地資源供給和開發需求的平衡狀態，高階決策群是否具備整體觀容受力思考觀念，成為決定台灣未來能否朝向永續發展的重要關鍵。系統動態學方法論的CLD(Causal Loop Diagram)模式和積量模式，可以聚焦議題與目標，引導整體觀容受力思考，適合做為永續管理都市的決策思考輔助工具。本文以國際著名的都市動態等案例，說明系統動態學方法論的CLD模式和積量模式，如何引導永續管理都市的整體觀容受力思考，顧及經濟成長且聚焦都市整體發展在各項系統容受力之權衡成果。最後，討論整體觀容受力思考在輔助高階決策成為台灣未來管理永續都市關鍵力量之特質與應用價值。

關鍵字：整體觀，容受力思考，管理與決策，系統動態學，永續都市

*國立嘉義大學景觀學系助理教授



Holistic Thinking with Carrying Capacity: the Power of Managing and Decision Making for being a Sustainable City

Mei-Chih Chen

Abstract

Land development necessarily becomes the key means for economic growth on process of city development. On conditions of Taiwan is a mountainous island and the limited developable land, decisions of city development must considerate the equilibrium within fields of economy, society, and environment for sustainable development, and the mentioned decisions also decide the equilibrium between the supply of land resource and the demand of development. Consequently, the high-level decision group who own the view of holistic thinking with carrying capacity or not, which decides the future of the Taiwan city to become sustainable cities either. Leaning on the national System Dynamics (SD) cases of Urban Dynamics and others, this study makes descriptions of the models of Causal Loops Diagram (CLD) and the Level of SD that are proper assistant methods to help to focus issues, aims, and guiding holistic decision thinking with carrying capacity for sustainable management of the city, which considerate the mentioned equilibrium within the various carrying capacity of diverse systems on process of the whole city development. This study also talks about the properties and applicational values of the holistic thinking with carrying capacity to be the future power of sustainable managing to assist the high-level decision of the Taiwan city.

Keywords : the view of holistic thinking, a thinking with carrying capacity, management and decision, System Dynamics, a sustainable city.



壹、前言

台灣許多中生代回憶過去三十年前的都市生活環境是美好的，到處都可接觸到大樹和滿佈田園綠地的綠意都市景觀。今日的都市居民，多半被街道上高密度人工建築物、模擬綠意庭院和林蔭大道建築意象的售屋招牌層層圍繞；而且，中心都市和衛星都市快速、密集發展，都市與都市之間原屬於自然綠地的土地，現在許多已經發展成為都會區成長蔓延的衛星都市、郊區住宅，或是科學園區廠房的人工開發土地(齊柏林，2013)。過去三十年前人們生活在田園城市的自然景象，反而成為國際間都會家庭人們和環境規劃領域專業者都非常期待的綠意都市(林肇志，2010；王小璘等，2011；Gallanter, 2012；Kafkoulas, 2013)。

台灣地理環境屬於多山島嶼型的地形地貌，在追求都市經濟永續成長的目標下，造成許多都會型都市的土地開發，已經到達高度飽和的極限狀態。多數衛星都市聚集與都市蔓延的發展趨勢，已經積極深入到台灣全島四大區域以農業發展為主的鄉鎮地區，甚至觸及全國國土發展位階(內政部營建署，2011；臺南市政府，2015)。這種土地無限發展模式，強烈挑戰我們在環境規劃與土地管理的永續發展目標，干擾政府長期在財政、管理人力對於環境和土地管理品質一致的掌控能力，干預自然生態系統與環境容受力，及打擊台灣最珍貴、原屬在地多樣生態景觀意象的本質(公視新聞議題中心，2015a，2015b，2015c；李鴻源，2015；Capra, 1994)。

我們必須正視引領台灣土地發展指標的政經中心都市和都會型都市，地方政府的環境規劃與管理政策，對於可供發展土地經濟開發需求的人造環境系統，及維持資源循環運作功能穩定的自然生態系統，這二大系統在需求和供給的相互權衡問題與競合關係。因為，這正關鍵著整個生態系統容受力受到的衝擊狀況，影響永續發展(高一中譯，2007；郭瓊瑩，葉佳宗，2011；Meadows, et al., 1972, 1992)。永續發展政策會因為各級政府的環境規劃與管理目標不同而異，如何讓多元決策群聚焦在一個共同目標，引導一致決策，是這個時代能否能朝向永續發展的重要關鍵。因此，在都市規劃與管理決策過程，需要專業者輔助整體觀容受力思考，從整體、綜觀及跨領域的環境規劃與管理觀念，引導台灣這個多山島嶼都市發展區域化的環境，邁向永續發展。



本文發現「系統動態學方法論」(System Dynamics, SD)因果回饋環路(Causal Loop Diagram, CLD)模式和數學積量模式，是輔助整體觀容受力思考的決策工具。在決策過程，可以整合經濟發展、土地開發、環境規劃與土地管理等多領域目標，聚焦到環境系統容受力共同議題的決策平台(謝長宏，1987; Coyle, 1996)。本文彙整分析聞名國際的都市動態系統案例(Forrester, 1969)，說明都市發展系統內部子系統容受力之重要組成、資源流動、積量狀態，及網狀的因果動態關係(謝長宏，1987; Sterman, 2000)；並且，利用SD的CLD模式及組成量化模式的率量、積量等圖像模式，說明這種圖像化模式輔助決策思考的特質，如何在都市發展決策過程，引導決策群以跨領域和都市系統容受力的整體觀點，共同關心都市的經濟發展、居住需求和產業勞動力等，屬於都市系統容受力動態權衡議題，完成一致的都市動態發展決策分析成果。

本文第貳部分是永續都市管理與決策整體觀容受力思考的學理基礎，說明生態系統與環境容受力的成長極限與環境永續管理機制；第參部分是引導整體觀容受力思考的圖像輔助決策工具，介紹SD質性因果回饋環路模式和陳述整體觀容受力積量模式等輔助決策分析工具，如何輔助高階決策具容受力管理與決策思考特質；第肆部份是整體觀容受力思考引導的跨領域規劃與管理決策，利用都市動態系統案例，說明SD引導整體觀容受力思考特質，CLD模式在探索跨領域都市發展問題核心、聚焦政策目標和理解都市發展問題之系統組成與變數之間的因果關係，以及SD積量模式輔助理解都市發展容受力與資源流的動態關係。最後是本文的結論與討論。

貳、永續都市管理與決策整體觀容受力思考的學理基礎

全球都市化發展與氣候變遷強烈影響人類未來世代的存亡，特別是在地球南極、北極二端冰帽和冰山，因為全球都市化、工業化快速發展趨勢，導致氣候暖化和冰山融化現象加劇，全球海平面上升，引發全球生態棲地與海島國家生存領域消逝、培育農林漁牧糧食等土地和資源短缺、生活環境品質和生存棲地安全受到威脅等因果環扣問題。當然，我們台灣位處在多山島嶼和四面臨海的地理環境下，同樣受到全球都市化與氣候變遷的生活與生存威脅(王惟芬譯，2012；丁惠民譯，2013；王漢國，2014)。



環境保育和經濟成長這二個目標對立的極端議題，國際社會對於該些議題理念的支持者不斷互相爭辯。本文嘗試從整體觀彙整這二個目標對立議題的學理基礎，第一節是生態系統與環境容受力與成長極限，說明整體觀容受力思考是全球各國要建立永續都市，在管理與決策時重要的基礎學理。第二節是環境永續管理機制與挑戰，說明當今都市的發展與管理決策群都面臨許多目標對立、立場不同的利益團體；為求永續發展，必須輔助可引導整體觀容受力思考的輔助決策工具，建立永續管理機制，以權衡多元目標並建立共識政策。以下說明。

一、生態系統與環境容受力的成長極限

生態系統與環境容受力的成長是有極限，從國際學界提出自然界生態系統如何穩定運作的理念，即可清楚理解。本節彙整成容受力定義和容受力具動態特質二小節，說明欲永續管理人造環境，高階決策需要具備的容受力理念。再者，多數都市發展都有無限成長的迷思，但自然資源供給有限，一些具有容受力觀點的永續都市規劃與管理理念隨之興起。為建立永續都市，專業者在輔助高階決策的過程，需要具備容受力觀點的整體觀思考能力，其重要的學理基礎源自於平衡、穩定自然界生態系統的容受力和成長極限等理念。以下說明。

(一)容受力定義

容受力(carrying capacity)觀念的重要性，可從國際生態學者們對於容受力的基本定義獲知，Kessler (1994)從整體生態系統穩定運作的運作觀點，提出容受力觀念：在永續發展的基礎下，一個棲地或生態系統決定著可支持最大的生物生命存量、或野生生物生命的族群量。Kessler(1994)和Monte-Luna等多位學者(2004)對於容受力有共同的定義：一個區域在特定的時空條件下，其整個區域環境發展的過程，能夠以有限資源來支持該區域多階層生物之全體物種最大族群的規模。人類屬於整個地球生態系統的一份子，上述的生態棲地容受力理念，非常適用在人類建構的生活棲地系統(簡稱：人造環境系統)，包括：城鄉地區的土地開發建設、環境與自然資源使用等方面的規劃與管理策略。因此，人造環境系統的容受力是在特定的時空條件下，由一個地區在永續使用及不會引發土地與所有物種生態棲地環境等不可回復的狀況下，對於資源最大的可開發獲取量(Kessler, 1994; Odum, 1996; Haraldsson and Ólafsdóttir, 2006)。



(二)容受力具動態特質

經過長年觀察氣候變遷的研究結果，Monte-Luna和多位學者共同證實：在人造環境子系統與自然環境大生態系統之間，系統裡變數之間的交互作用極度受到氣候變化的影響；氣候變化會讓生態系統產生新的動態發展，系統裡的變數組成將會順應這個發展而改變(Monte-Luna, et al., 2004; Woodward, 1992)。因此，Monte-Luna等多位學者(2004)共同指出容受力的重要特質：容受力是一種動態地，在不同層級的生物界生態系統和人造環境系統裡，各種資源和訊息等多個變數交互作用的回饋過程，會讓容受力呈現出多樣化、變動的特質。

(三)都市發展的無限成長迷思

反觀過去全球專注在經濟永續成長和富裕便捷的生活模式等強烈目標的追逐，都市發展政策長期忽略資源有限的整體觀環境容受力思考，導致近幾個世紀在都市和鄉鎮地區的土地開發規模、土地利用強度、及都市發展模式，進展演變形成：都市蔓延、人口聚集、高密度土地使用、社會組成複雜、環境變遷問題複雜化與惡化等嚴重影響人類生存議題(高一中譯，2007；齊柏林，2013; Cadenasso, et al., 2006)。但在二十世紀以前，全球都市人口數量與土地開發規模尚未急遽增加，未產生立即對地球生態系統與棲地環境造成重大衝擊時，甚少人能從整體觀的環境容受力看待全球都市永續發展議題，並且重視都市與其邊緣自然綠地對於生態系統與環境容受力的貢獻(Chen, et al., 2006)。因為，多數人無法完整理解全球都市極度消耗土地的發展模式，會對於大規模的區域和全球生態系統產生不平衡的衝擊(Collins, et al., 2000)。

(四)永續城鄉規劃與管理理念興起

近幾世紀以來，全球人口數大量劇增與都市競逐經濟發展結果，加速全球優質的生態棲地消失，自然資源大量消耗，氣候變遷與環境問題呈現複雜、嚴重化趨勢，已經近乎到達成長極限(高一中譯，2007)。大家開始重視全球環境是一個人類生活與生存仰賴的棲所，但是資源與空間有限的生命共同體。同時意識到：都市蔓延結果會消耗掉許多優良農地、自然綠地、多種影響生存環境品質的資源和能源；而過度的土地開發，也影響到氣候變遷與水文循環作用(王惟芬譯，2012；齊柏林，2013；李鴻源，2015; Pickett, et al., 2008)，嚴重威脅到都市本身暨周圍鄰近自然綠地生態系統功能運作的健全與整體性(郭瓊瑩，葉佳宗，2011; Giupponi, et al., 2004)。因此，近世紀許多環境變遷與生態研究的



國際學者紛紛提出：成長極限、生態都市、綠色都市、田園城市、健康都市等具備生態系統與環境容受力與成長極限的土地與環境規劃理念，以及需要跨領域整合各部門政策的管理科學理念(Meadows, et al., 1972, 1992; Motohashi and Nishi, 1991; Grimm, et al., 2000; Giupponi, et al., 2004; Gilmour, et al., 2005; Gallanter, 2012)。為了永續規劃與管理城鄉環境，這些重要的整體觀容受力思考學理基礎，是高階決策群勢必要具備的決策能力。

(五) 整體觀容受力思考的重要性

在都市發展的管理與決策過程，上述永續城鄉規劃與管理理念是建立在生態系統和容受力觀念的學理基礎，有益從整體觀、系統觀探討都市發展與環境變遷等複雜議題，讓高階決策群不再只是單純看待都市單一功能的空間與土地使用問題，而是能夠從整體觀檢視都市空間結構與環境系統的多元功能，及系統內組成變數之間多元的環扣關係。並且，在決策過程會兼顧到：經濟發展需求、環境品質提昇和重視生態系統功能完整性(Harris and Kennedy, 1999; Clarke, 2002; Long, et al., 2004; Li, et al., 2008; Pickett, et al., 2008; Lane, 2010)。

綜合而言，高階決策群在都市規劃與管理決策時，必須具備整體觀容受力思考觀念：無論是自然界生態系統或人造環境系統，其生產者供給與消費者需求彼此之間的資源循環功能，生態系統運作的容受力是有成長極限。因此，倘若冀望子代未來能夠生活無虞、土地和自然資源足夠長久提供使用，人們必須具備土地與資源的供給存量有限、發展需要被限制的生態系統容受力觀念。而且，在都市規劃與管理決策過程，高階決策群擁有整體觀容受力思考能力，將會是決定都市等人造環境邁向永續發展之關鍵力(Dijkman, 1999)。

二、環境永續管理機制與挑戰

台灣幾十年來都市快速的發展模式，多數受到美國等高度發展國家都市發展與規劃理念的強烈影響。台灣許多都市和國際的都市一樣，土地大量開發和高密度人口，普遍有都市擴張現象。同時，造成生活環境不健康、道路交通擁擠、空氣和水資源污染等環境品質下降問題(高一中譯, 2007; 齊柏林, 2013)。這些問題地方政府確實非常重視，專家學者們也紛紛提出生態都市永續管理機制，以改善都市環境問題，例如：都市發展政策積極規劃生態都市藍帶與綠地系統，從生態足跡觀點教育人們改善生活習慣和使用資源模式，從綠色經濟觀



點控制環境資源消耗，從綠色產業觀點以科技控制環境污染源排放，從都市土地使用規劃理念和都市設計管制土地開發模式等機制來提升都市的環境品質等等(吳信如譯，2000；高一中譯，2007；王小璘等，2011)。

許多學者嘗試從都市規劃與都市設計的永續發展理念，引導人們對待土地與資源使用觀念邁向永續發展，如前揭：生態都市、綠色都市、田園城市、健康都市及明智成長都市等，冀望建立讓人們更舒適、便捷、人性化與健康的適居環境。但是，一個永續都市在環境規劃與管理的機制，多數政府都會面臨傳統經濟主義主導成本效益的量化價值觀挑戰。許多地方政府嘗試推出田園城市與生態社區計畫，但是如何整合多元的價值觀與都市發展目標，就是一個複雜議題。多數政策會受到不同利益團體，如：開發者、投資者使用者和居民等不同的目標和利益需求，左右都市發展與土地開發模式(Gallanter, 2012)。確實，多數人都會以利己的角度思考問題，希望擁有的土地被納入都市計畫高度利用範圍，以獲取更多利益。這種思考模式與價值觀，造成城鄉地區都市計畫範圍不斷擴張，長期累積結果，環境破壞與惡化等問題不斷形成並擴大範圍。

倘若，從全民環境教育來推動永續都市的環境價值觀，倡導綠地是重要的綠色資本、屬公共財，對於健康都市生活所需的水資源、土壤、空氣、陽光及資源永續利用，以及保育生命永續、生態系統完整(Wheeler, 1996)，具有重要的公益價值與獨特功能(吳信如譯，2000；齊立文譯，2001；Beatley, 2000)。這樣倡導生態綠地保育對於永續都市重要性的環境教育做法，必須在都市發展各項決策過程，建立多元參與公共政策的環境規劃與管理機制，讓多元領域的各種組織、民眾和非營利團體共同參與公共事務政策。當人們在實際參與實務環境規劃與經理之公共政策討論過程，獲得都市環境資源和土地開發、政府財政等狀況(存量)，及前揭資源每年容受力增減量(流量)等重要資訊，人們才能夠深刻體會並意識到：土地與自然資源供給存量有限、發展需要被限制等環境容受力極限的重要性。並且，在公共參與過程，如能提供一個跨領域公共討論的交流平台和引導整體觀容受力思考之輔助決策工具，整合環境價值觀和永續發展目標，更能建立長期、穩定與持續的都市環境管理機制，助益都市的永續發展。



參、引導整體觀容受力思考的圖像輔助決策工具

根據前揭整體觀容受力思考理念架構，具備生態系統與環境容受力的成長極限理念之永續管理與決策能力，必然是維繫我們都市生活與環境品質必要的決定條件和永續發展的關鍵要素。因此，政府在推動永續發展的環境規劃與管理政策過程，必須引導人們具備目標一致的環境價值觀，讓人們理解生態系統與環境容受力是有極限的，而且會因為環境與社會發展變遷而變動等觀念，才有機會結合全民力量，以共同願景建立永續發展的生態都市。

本文發現「系統動態學方法論」(System Dynamics，以下簡稱：SD)質性因果回饋環路模式和數學量化模式等二階段圖像輔助決策思考工具，先針對環境系統複雜問題變數的因果結構組成，從科學邏輯化思考進行問題定性的描述和變數因果關係解釋；再轉換系統裡多變數之間因果影響關係為數學量化流動關係，呈現問題關鍵變數容受力量化之累積狀態和長期的模擬分析結果等多種特質(Jan and Jan, 2000)。這些特質，正適合做為引導決策者從整體觀(holistic view)容受力思考人類在環境規劃與管理系統重要議題之輔助決策工具；尤其這類型環境議題多半是組成變數系統龐大，具有複雜、緩慢、延滯、累積、及動態等多種典型系統行為特徵(Sterman, 2000; Jan, 2003；何東波，2003)。

再者，多數環境規劃與管理系統決策議題都是跨越多個領域系統，故具備引導整體觀容受力思考的SD，其二階段圖像化輔助決策模式，不僅可以提供跨領域環境決策的討論平台，讓多元領域參與決策者在環境發展、規劃與管理的目標能夠一致。並且，引導決策者從整體觀容受力觀點看待環境發展、規劃與管理問題，以能深入理解環境系統各項資源容受力之變動狀況，成為跨領域高階決策者在環境規劃與管理決策過程中，一個以圖像模式引導整體觀容受力思考、輔助永續決策的交流平台。SD早期的發展是以系統理論、資訊回饋控制、決策理論、系統設計等原理與技巧，運用在管理、組織，及長期、複雜、動態環境變遷問題之處理(謝長宏，1987)。近年SD發展已經擴展到環境規劃與管理研究等領域：自然資源保育管理、環境污染、容受力變遷、都市規劃和民眾參與等(陳美智，2009)。從SD研究發展趨勢，可見整體觀容受力思考已經成為全球高階決策的重要能力。關於SD引導跨領域決策者具備整體觀容受力思考之二階段圖像化輔助決策工具，介紹如下。



一、質性因果回饋環路模式

在跨領域環境規劃與管理決策的時代，需要讓各相關領域的決策者能夠從生態系統與環境容受力的成長極限等整體觀角度，看待環境系統中組成問題的複雜多項變數及該些變數之間因果影響的變動關係。這樣才有機會化解多領域之間的專業界域與隔閡，進行生態系統與環境容受力整體觀的系統思考、及跨領域的環境管理決策。SD 的質性因果回饋環路模式，具備整體觀、且能夠將多變數關係以系統化結構組織為一個圖像化模式，引導跨領域決策者共同針對一個焦點問題進行相關變數的因果關係探討，正可以做為跨領域的規劃與管理問題之輔助決策工具。

在輔助探究環境規劃與管理問題根源與決策思考方面，從容受力觀點建構的輔助決策思考之質性因果回饋模式，它重要的基本組成：變數(variable)、連鎖(或鍵, linkage or link)、及回饋環路(feedback loops)等組成果因果回饋環路圖(the causal feedback loop diagrams), 可清楚確認系統裡各變數之間的因果關聯(causal relationship), 逐步將複雜的環境規劃與管理問題整合，協助決策者從整體觀理解生態系統與環境容受力的成長極限特質、深入瞭解環境問題和跨領域本質、及掌握環境規劃與管理系統整體的結構特性(Sterman, 2000)。並且，利用因果推理的邏輯思考方式，引導參與決策者能夠共同針對一個焦點問題找出關鍵政策的介入點，獲得目標一致的環境政策。有關 SD 圖像化質性因果回饋環路的重要基本組成，詳表 1 說明。

表1、質性因果回饋環路圖像化模式符號說明

項目	質性模式符號	項目	質性模式符號
因果鏈	都市經濟活動 $\xrightarrow{+}$ 都市居住者數量	因果回饋環路圖	
	都市土地開發面積 $\xrightarrow{+}$ 都市居住者數量		
	都市土地開發面積 $\xrightarrow{-}$ 都市綠地面積		
			<p>質性因果回饋環路圖像化模式</p>

資料來源：本研究繪製。



這種以圖像化因果回饋環路呈現環境系統中多變數之間因果關係的結構組成，可以清楚說明在環境規劃與管理決策系統中，所有相關的資源變數在因果連鎖和回饋關係的整體觀容受力思考，例如：上表1右圖是一個質性因果回饋環路圖像化模式，它說明在都市發展的過程中，「都市經濟活動」、「都市居住者數量」、「都市土地開發面積」、和「都市綠地面積」等多個組成變數之間，以容受力觀點所建構的因果回饋環路圖。經由它建構的因果回饋環路模式，不僅可以輔助決策者從整體觀看待環境規劃與管理問題，其圖像化視覺效果方便用來進行跨領域政策溝通平台，讓所有決策者迅速掌握環境規劃與管理系統中，許多資源變數彼此之間的容受力關係。

二、數學量化模式

(一) 量化模式基本結構

SD協助處理決策問題建置系統架構的過程，其實運用管理領域中管理決策系統的「動態控制概念」：當問題系統狀況偏離了原來系統設定的平衡目標，產生差距「資訊」，管理部門會以「決策」行動來調整系統產生偏離的差距(謝長宏，1987; Forrester, 1980; Sterman, 2000)。這種輔助管理決策的系統資訊回饋關係，可呈現出環境規劃與資源管理決策系統中，重要變數容受力的增加或降低之量化資訊回饋關係，其標準模型結構是以一個「積量」(level) (又稱為：「存量」(stocks)，如下圖1「都市已開發土地面積」變數、箭頭指向或離開積量的「率量」(rate) (或稱為：流量，如下圖1：「土地開發增加率」變數及「土地開發減少率」變數，以及「輔助變數」，如下圖1：「新建地面積」變數及「建物平均使用年限」變數，以及由「因果鏈」共同組成一個SD量化模式的基本結構 (謝長宏，1987; Forrester, 1980) (詳表1)，它可以將環境系統裡各項資源的容受力狀態，以圖像化SD量化模式呈現，詳圖1。

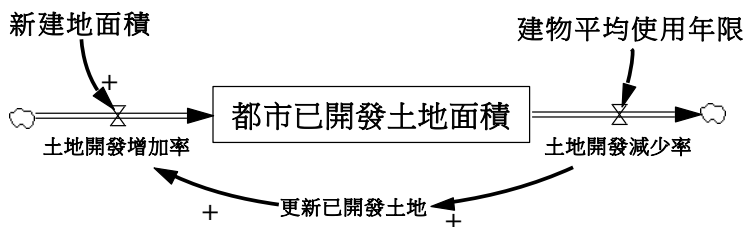


圖1、容受力狀態圖像化量化模式基本結構

資料來源：本研究繪製



(二)陳述整體觀容受力狀態之積量模式

SD在量化模式結構中的「積量」模式，它可以呈現出環境系統主要資源組成變數的容受力狀態，呈現變數過去長期的累積量(accumulation)(Roberts, et al., 1978; Forrester, 1980)、及累積變動結果的圖像視覺模式。並且利用瞬間流入與流出之率量(rate)變數的流量(flows)和原始基本量的總合，將環境系統重要的資源狀態，以資源流入和流出之變動關係，結構組成一個容受力圖像化模式(謝長宏，1987; Coyle, 1996; Sterman, 2000)，詳上圖1，它正可以做為跨領域環境決策整體觀容受力思考的圖像化決策工具。

積量模式運用了管理領域管理決策系統的「動態控制概念」，可以協助環境決策者瞭解環境問題與環境系統之間資源的容受力狀態，及資源流動的因果動態關係。以圖2說明，在都市發展過程，都市已開發土地和綠地之間，可供開發土地容受力是動態變化：都市產業界對於人力資源和土地有強大需求，一旦可供使用的已開發土地供應不足，產業界會強迫政府將都市綠地變更為可供開發土地。當都市提供給產業界發展的土地面積增加，產業會需要更多勞動力，都市因此增加更多的工作機會，造成都市吸引力增加，都市人口因此增加。

這種都市綠地和已開發土地之間土地容受力的動態關係，主要由都市可供開發土地和都市綠地的積量模式的外顯狀況(apparent condition)控制，一旦已開發土地的積量狀態，受到該項土地使用的需求目標增加之訊息，隨即產生平衡差距(discrepancy)，於是傳遞出都市發展「偏離目標狀態」訊息。都市發展部門一旦接收到這項訊息，即開始執行「都市計畫通盤檢討」行動，目的在調整都市發展系統的已開發土地積量所產生偏離目標的差距；都市發展部門決策行動的結果，會讓都市發展系統產生新的「決策行動」表現(謝長宏，1987; Forrester, 1980; Coyle, 1996; Sterman, 2000)，例如：變更都市綠地為可供開發土地、提高低度已開發土地的使用強度，或擴大都市計畫地區的範圍等做法。圖2就是一個利用SD積量模式，陳述從整體觀看待都市已開發土地和綠地之間土地容受力變動狀態的例子。



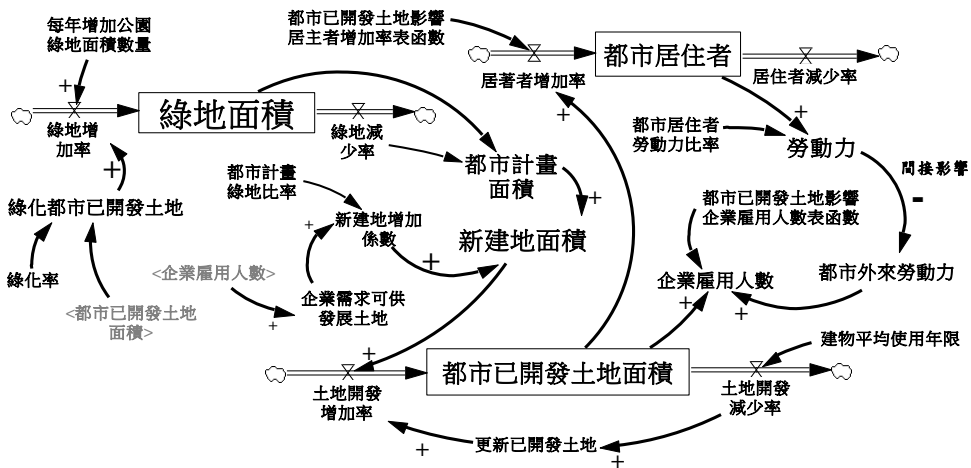


圖2、陳述整體觀都市已開發土地和綠地之間土地容受力變動狀態之數學量化簡易模式
 資料來源：本研究繪製

本文彙整SD輔助整體觀容受力思考的一個重要信念：「要實際瞭解一個系統內部產生的問題，應該是從整體觀瞭解系統內部所有實體組成變數之組織架構、狀態變數容受力(積量)的動態發展訊息、及影響狀態變數潛層流動(underlying flows)的資訊，而不是從系統中個別部門分工的子系統組成變數的個別功能(Roberts, et al., 1978)。」這個SD動態系統的重要信念，可以做為都市環境規劃與管理決策過程，高階決策者應該具備的整體觀容受力思考的基本理念：我們必須透過觀察都市整個環境系統在各項資源的容受力(積量)狀態的實體變化，瞭解環境規劃與管理問題的重要系統結構，及在都市發展過程中，整個規劃管理過程各項組成變數容受力(積量)流動變化的即時資訊，以確認都市環境系統組成、資源變數呈現的容受力(積量)平衡狀態(達到目標狀態)、及影響該變數容受力(積量)狀態變化的各項政策資訊。

肆、整體觀容受力思考引導的跨領域規劃與管理決策

本文利用介紹國際系統動態學者Forrester(1969)「都市動態」(Urban Dynamics) SD重要研究，說明如何藉由SD的CLD模式和量化模式來輔助系統思考，並且進行整體觀容受力思考來引導跨領域規劃與管理決策。「都市動態」藉由1956年M.I.T.史隆管理學院發展的SD系統思考與圖像決策工具，以整體觀容



受力思考觀念，檢驗一般都市發展必然會經歷的過程：成長、成熟及停滯等基本三個生命週期歷程；這些過程通常是呈現S型指數成長函數的型態發展，生命週期歷程模擬時間是250年，詳圖3。以下分別從：(一)探索跨領域都市發展問題核心與聚焦決策目標；(二)整體觀的都市發展問題系統組成與變數的因果關係；及(三)都市發展容受力與資源流的動態關係等三個項目，說明利用SD圖像CLD模式和量化模式等決策工具，輔助高階決策群以整體觀容受力的系統思考方式，進行跨領域永續環境規劃與管理決策的結果。

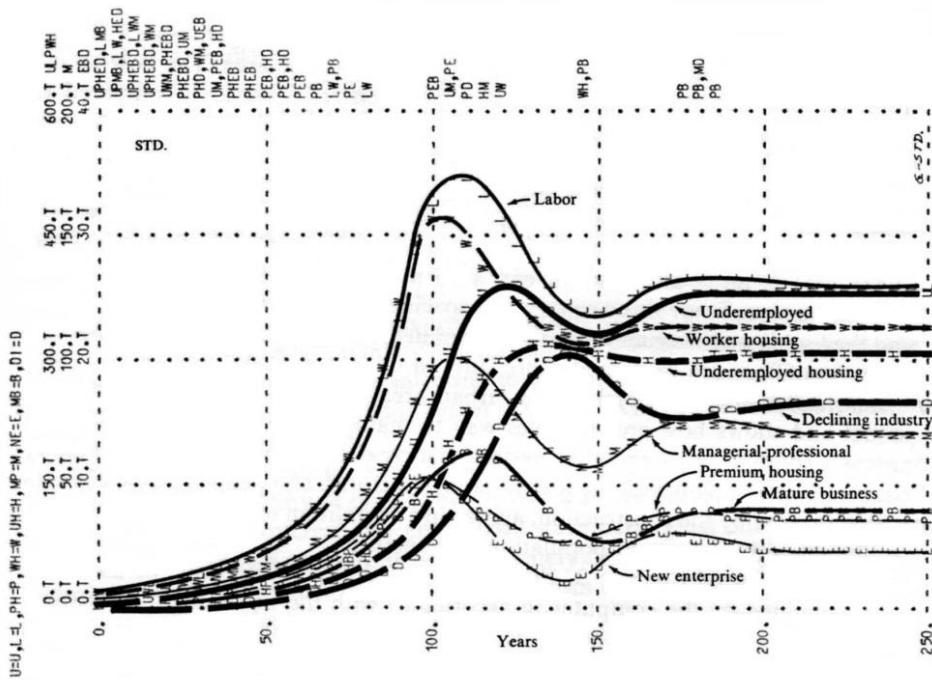


圖3、都市250年在成長、成熟與停滯的生命週期圖(引用自Forrester, 1969: 4)

一、探索跨領域都市發展問題核心與聚焦決策目標

世界上一般都市發展的主要功能都聚焦在經濟成長，都市經濟產值是影響都市動態系統發展變遷問題的核心變數。這類型都市動態系統強調著四項主要狀態變數為：都市人口結構、住宅屋齡結構及產業興衰，以及都市動態系統以外區域的經濟功能。因此，這個都市動態系統排除周圍自然環境系統組成，及都市其他部門政策之影響變數。



藉由這個都市動態系統SD圖像化決策模式的輔助，除了找出都市發展問題的核心，並聚焦決策目標在：都市吸引人們遷入的主要變數在於提供工作機會及都市再生的計畫。因此，都市動態系統研究都市發展的問題重心，著重在探討：當都市發展到停滯階段，如何聚焦決策目標在提供工作機會，及讓都市能夠再生的計畫，如：舊住宅拆除、抑制住宅建設等有效改變都市發展政策，讓都市再生並恢復與健全都市的經濟功能。

二、整體觀的都市發展問題系統組成與變數因果關係

都市動態系統基本結構組成的假設條件是：都市是由產業、住宅及在都市就業人們，互動影響形成的一個人造系統，擁有三種產業人口結構系統：「專業管理者」(Managerial-professional)、「勞工」(Labor)、及可從該地區遷入及遷出的「臨時工」(Underemployed) (或稱：「非正式員工」)；都市動態系統存在三種經濟型態的住宅系統：「臨時工住宅」(Underemployed housing)、「勞工住宅」(Labor housing)、「高價位住宅」(Premium housing) (或稱：「溢價住宅」)；並且具備三種年齡型態的都市產業系統：「新型產業」(New enterprise)、「成熟型產業」(Mature business)、「衰退型產業」(Declining industry)。對於這個都市動態系統的住宅家庭類型，基本假設：專業管理者家庭只會住在高價位住宅；勞工家庭只會住在勞工住宅；而臨時工家庭只會住在臨時工住宅。

關於這個都市動態系統所經歷的成長、成熟與停滯等生命週期歷程之模型假設：最初狀態是一個完全無任何建設，無任何人造設施的空地，做為此動態都市的發展基礎，後來逐漸發展到土地使用飽和與均衡狀態。在都市土地容受力(積量)逐漸趨向飽和之狀態，都市發展速度會漸漸停滯；當都市從成長狀態轉為容受力均衡狀態時，人口組成會趨向複雜，而且產業經濟活動會轉向衰退狀態。除非，都市能夠持續再生與更新，否則都市發展狀態將會從創新與成長的狀態，轉為滿佈老舊住宅、都市產業呈現停滯發展或逐漸衰退的狀態。

三、都市發展容受力與資源流的動態關係

一個都市發展容受力對於周邊地區人們或都市人們，會產生高、低不同都市吸引力的影響變數，包括：都市發展環境條件、都市本身環境狀態及都市經濟活動的強度，這三種變數決定都市人口遷入和遷出都市的活動流動狀態。因



此，這個都市動態系統模型的基本假設條件：都市系統規模很小，不會受到都市以外環境變遷的重大影響。這個都市動態系統模型的主要結構組成流程圖及都市系統模型動態流程圖，分別詳下文的圖4和圖5。

由於都市是一個複雜、可自我調節系統(self-regulation system)，其內部會自動產生一些對抗的力量來緩和、或改善各種經濟活動的衝擊，並且改變都市在土地使用、組織結構與人口組成等方面的發展政策。決定都市發展系統容受力(積量)是位處在成長期、或是已經到達停滯期，這些都市發展系統容受力改變，是由都市動態系統的人口遷移次系統帶動都市產業次系統與住宅次系統，其發展階段屬於：興建、成熟、老化或拆除等過程來決定。

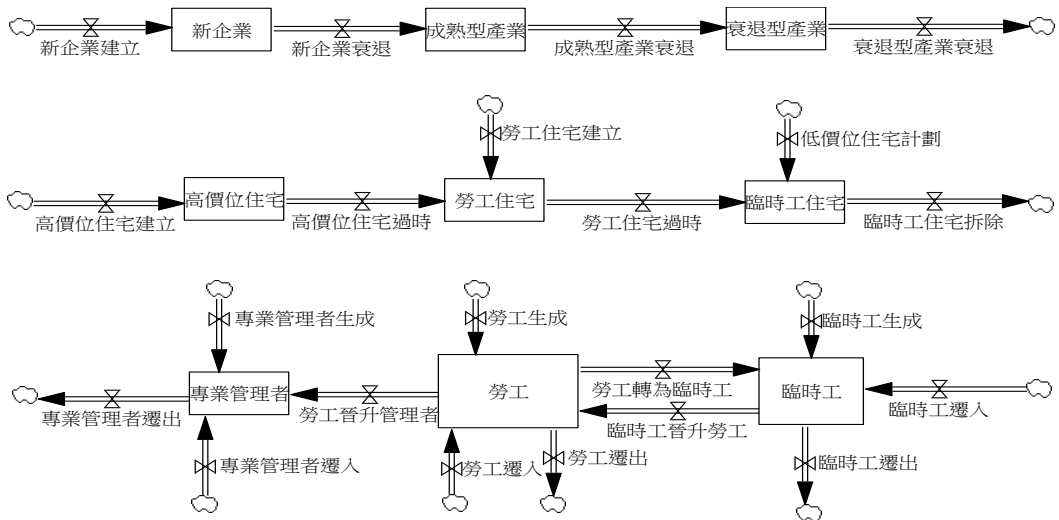


圖4、都市動態系統模型主要容受力結構組成流程圖(轉繪自Forrester, 1969: 16)

舉例來說，以這個都市動態系統「都市的成長與停滯」期(詳前文圖3)，意即在都市發展與人口成長的前100年期間，社會系統包含數個呈現指數成長的正向回饋環路，都市吸引力讓臨時工遷往都市，都市的子系統臨時工人口容受力數量增加，同時會影響都市住宅與產業子系統容受力之結構；新型產業與高價位住宅的容受力成長狀態達到最高峰，專業管理人口數、勞工住宅數量、及勞工人數等子系統的容受力狀態，幾乎是到達最大值。但是，從100年到200年都市發展期間，都市子系統土地使用容受力逐漸趨於飽和，轉為都市的經濟與住宅子系統的結構組成改變，會讓都市動態系統裡這種容受力呈現指數成長的正向回饋作用減緩或停止。因此，都市發展到100年時，是都市地區建築子系統



容受力發展階段的終止時期；而當都市發展到130年時，是都市動態系統停滯在一個擁有高臨時工家庭住宅與衰敗產業子系統容受力發展的顛峰狀態。而在都市產業活動容受力的成長、消長與轉型情況：新型產業的高峰期約在100年以前，成熟型產業的高峰期約在112年，衰退型產業的高峰期則約在140年。當都市發展到200年時，整個都市系統容受力是在穩定和均衡狀態，但是到250年時，都市發展則呈現停滯狀態，詳前文圖3。

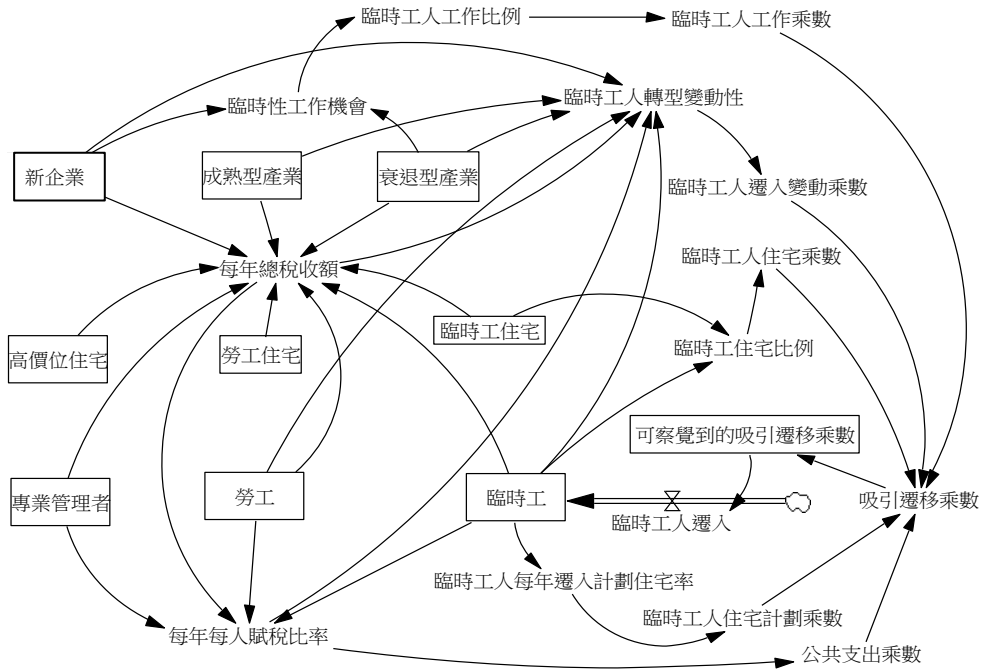


圖5、都市動態系統模型容受力動態流程圖(轉繪自Forrester, 1969: 21)

Forrester對於都市動態系統的研究結論是：都市經過長期發展結果，並不一定會循著以往都市歷史的軌跡走(Forrester, 1969: 102-105)。固然一些可滿足都市發展短期間需求的新政策，可以在都市的生命週期：成長，成熟，停滯等階段的任何時刻引入；而且，都市受到短期政策實施結果，一定會有立即反應與影響。但是，都市發展最後是否會達到期望的均衡狀態，全由都市發展政策本身是否能夠因應時代變遷需求，及都市發展系統多項組成容受力相互變動影響下，形成可以變動調整的一個新的都市發展政策，以決定都市是否能夠均衡發展，而不會邁向停滯或老化衰敗的狀態。本文圖5說明都市主要組成：產業、住宅及人口，三項子系統的容受力狀態與其動態關係。



伍、結論與討論

台灣是一個四周環海、多高山的島嶼，都市多聚集在平原、盆地等地理位置。過去政府因應高密度人口居住和經濟快速發展的需求，都市發展和土地開發模式，習慣將有限的環境管理容受力和環境資源容受力做無限制的開發和利用，這是一種從短期快速見效的經濟發展觀點，決定我們生活都市未來的發展做法。倘若，從宏觀角度看待我們生活的都市環境，事實上屬於整個地球生態系統的一個部分，都市可供居住人口數量、可供開發土地面積和綠地資源等發展容受力，以及行政部門的人力和財力等管理容受力，和地球自然生態系統裡多樣化物種的生活棲地和資源組成一樣，同樣都會面臨到容受力的成長極限狀況。因此，在都市規劃、管理與決策過程，高階決策群需要專業者從整體觀容受力思考角度，輔助擬訂都市永續發展政策。

本文利用SD的CLD模式和數學量化模式等圖像化輔助決策工具，及藉由國際知名都市動態系統案例，說明SD圖像化模式引導決策者跨領域整體觀容受力思考的決策模式，如何能夠同時引導多元領域共同探討都市發展等複雜環境議題時，這些決策者能自然跨越領域鴻溝，共同關心關鍵都市發展的都市產業次系統、住宅次系統和人口勞動力次系統，屬多元都市系統容受力成長極限之權衡議題，完成一致的決策成果。本文引介一個對於人類建構永續環境之重要關鍵信念：「從整體觀容受力思考輔助環境規劃與管理決策，關鍵著我們生活居住環境的未來發展，是邁向永續、或者是背離永續。」

經由SD的CLD模式引導整體觀容受力思考自然生態環境和人造都市環境之系統組成變數關係，可以理解到自然環境和人造都市這二種系統組成變數之間，其容受力如何維持在動態均衡的狀態；並且，進一步可以理解各項系統組成變數和環境資源變數，它們的容受力都有成長極限的問題。這樣，決策者或者參與決策的人，自然會理解建立各項發展的總量管制機制的必要性，以解決複雜環境問題和兼顧人類永續發展，讓整個地球生態系統能達到永續共生境界。這種整體觀考量容受力限制的永續管理與決策思考模式，是建構永續都市重要的高階管理與決策能力。以下有關整體觀容受力思考、SD引導整體觀容受力思考之應用價值及限制，進行研究成果討論。



一、永續都市的管理與決策需要整體觀容受力思考

都市是一個具備經濟、社會、生態、環境與生活等複雜、多元組成的人類棲地系統，它隸屬在自然生態系統中的一份子，二者之間的變數組成複雜、交織，且各種變數的容受力有強烈的動態需求與供給等環扣關係，非常緊密且活躍。因此，在執行都市計畫、都市設計及景觀規劃與設計，或是土地開發、生態保育及營造健康生態社區環境等複雜環境事務，高階決策群必須從理解自然界生態系統生物族群在棲地能長久生存之道，學習從整體觀進行容受力思考。藉由理解自然界生態系統多元、複雜的變數組成關係，以及資源變數容受力動態均衡消長的運作模式，得以考量都市與自然生態系統在土地、環境、資源和社會等各種容受力的成長極限條件(郭瓊瑩，葉佳宗，2011；高一中譯，2007；Meadows, et al., 1972, 1992)。並且，以總量管制方式控管都市整體土地與各項環境資源的容受力消長的變動狀態，才能深入理解各部門的發展政策是否能夠達到均衡。這種具備整體觀容受力思考之高階管理與決策能力，是長久管理都市、建構適居環境及邁向永續發展的關鍵要素。

二、SD 引導整體觀容受力思考之應用價值及限制

容受力觀念源自於生物族群在資源有限的棲地生存且欲持續延續族群的生命，該族群數量必須維持在棲地可支持該族群最大數量之範圍內。這個生態棲地容受力原理是在物種多元、組成複雜、具網狀關係的生態系統中，每一種生物族群都必須遵循的。因此，人類棲地(都市等人造環境系統)的發展，也無法例外。SD模式可以將複雜的問題系統及其多元組成關係，建構成如同生態系統多元物種、複雜組成的網狀關係，輔助並引導高階決策群進行環境決策的整體觀容受力思考。以下討論SD引導整體觀容受力思考的特質、形塑容受力方式及其應用價值與限制。

(一) 聚焦問題、整合目標、提供整體觀及跨領域思考

都市組成多元、結構複雜且功能不可切割，從規劃設計、建成，到後續的管理階段，是一系列綜合、多元且跨領域的管理與決策過程。因此，高階決策群需要從整體觀容受力思考角度，處理都市多元領域的環境規劃與管理決策議題，如：永續發展、都市蔓延、綠地消逝、生活環境品質、資源永續利用及生



態棲地保育…等等。SD的視覺圖像化模式具有引導系統思考、聚焦問題和找出問題核心等特質，在利用SD建構前述議題的問題系統CLD模式和決策CLD模式時，會協助高階群策群從整體觀看待問題的系統全貌，理解各項議題多元變數組成關係與問題系統結構，引導多部門多元意見的溝通和跨領域思考，有益整合多元目標與建構永續發展政策。

(二)SD 模式引導容受力思考與形塑容受力方式

SD圖像化CLD模式和數學量化模式，是引導容受力思考與形塑容受力觀念重要的輔助工具。CLD模式是建構複雜問題系統第一階段的質性因果模式，可協助建構問題全貌並確認複雜問題系統裡多個不同領域的重要組成變數，並從整體觀理解變數與變數之間互動的因果關係。SD第一階段圖像化CLD模式，可以引導思考人類都市系統和自然生態系統，二者之間容受力供需的永續發展與適居環境議題；進階則引導理解問題系統中重要多個組成變數之間互動的影響結果，個別受到影響變數的容受力是會因此增加、或者因此減少的動態因果關係，如表1右圖的CLD模式。

SD建模的第二階段是數學量化模式，其基本組成為：積量、率量及因果鍵，如圖1。其中，最能引導理解容受力狀態的模式組成是積量變數，它如容器般的圖像符號可引導理解資源積量變數的容受力狀態，及積量變數受到率量變數在流進(增加)與流出(減少)的變動影響。SD數學量化模式能清楚說明複雜問題系統資源變數的容受力狀態，及資源變數率量的流動、累積，以及容受力積量狀態形成與長期趨勢的展現。並且，說明整個複雜問題系統多個積量變數彼此具網狀的互動關係，如圖2、圖4和圖5。其中，圖4和圖5是在國際都市動態系統案例中，SD領域早期發展的軟體所建構的數學量化模式(Forrester, 1969)，而圖2是近年SD領域新開發Vensim軟體建構而成，二者都是SD數學量化模式。

(三)SD 應用在環境規劃與管理領域之限制與需求

都市所有複雜的實務環境議題都具有：緩慢、漸進、持續與隱晦等系統特性，而且所呈現的問題都會有時間延滯現象。因此，在理解和處理複雜環境議題的決策過程，需要具有豐富實務經驗、具備SD建模、系統思考能力與生態系統容受力觀念的環境規劃設計專業者，輔助高階決策。並且，需要重視生態環境保育、支持長期政策的高階管理與決策團隊共同合作，彙整多元組成變數長期累積發展的歷史數據資料，才能針對複雜、動態的都市環境問題系統進行具



體、長期的趨勢觀察與分析，以獲得完整的事實證據、讓人信服的分析成果與政策。換句話說，SD無法對於僅有短期或間斷、不完整資料的問題，進行趨勢分析。對於希望用來快速解決問題、做短期政策的精確模擬等決策方式，SD也不適合；它不是用來作為預測未來的決策分析工具。這是SD應用在環境規劃與管理領域的限制與需求條件。

再者，以SD輔助整體觀容受力思考的都市管理與決策過程，在建構環境議題CLD模式的實務操作，是一種長期政策運作機制，需要長時間進行跨領域意見溝通與討論。必要時須建構量化模擬模式進行情境政策模擬分析，提供多元決策群模擬分析圖以輔助整體觀容受力思考的決策討論。這樣從整體觀、系統觀和容受力思考推展出來的政策，才能符合社會多元需求、讓資源容受力得以持續利用。並且，建構一個長久適居環境的永續都市。

固然，要讓今日台灣多數都市呈現著：衛星都市區域化融合發展、土地密集開發、建築林立、及過度使用建築空地等人造物充斥和擁擠的都市樣貌，在短期瞬間轉回變成為過去三十年前綠意盎然的田園城市景觀，是一種遙不可及的桃花園夢想。倘若大家願意從長遠觀來努力管理今日高密度開發型都市，等待它逐漸回到人們嚮往的田園綠意都市，像孵育一個生命的健康成長，長期持續的投入對土地友善的環境規劃與管理政策，田園綠意都市的成果就會逐漸累積形成(李丁讚，2010)。換句話說，未來在都會型衛星都市聚集地區、都市地區、或是鄉鎮地區的環境規劃與土地管理的決策思考過程，如果能拋棄過去慣常的僅追求一個都市發展目標之思維模式，轉而從生態系統與環境整體觀容受力思考方式，兼顧：維持經濟健全發展、生態系統資源循環功能的穩定，及提升生活環境品質等都市環境系統整體發展需求，永續發展的田園綠意都市將可以築夢踏實(李丁讚，2010；Gallanter, 2012)。

謝 誌

本文非常感謝二位匿名評審委員對於本文的剴切指正，並且提供許多寶貴和傑出的建議，讓本文在議題、架構和研究成果等內容能表達更確實、嚴謹和精進。並且，感謝科技部專題研究計畫(MOST 104-2119-M-415-002 -)支持，使本研究得以持續進行並獲得階段性的研究成果。



參考文獻

1. 丁惠民譯, 2013,《氣候變遷的關鍵報告》(*Global Weirdness: Severe Storms, Deadly Heat Waves, Relentless Drought, Rising Seas, and the Weather of the Future*, 原著: 美國氣候中心(Climatic Central: Elert, Emily and Lemonick, Michael D.)), 臺北: 大是文化。
2. 內政部營建署, 2011,〈擬定直轄市縣(市)區域計畫實施要點〉, 內政部營建署全球資訊網, 法規公告: 綜合計畫篇, 網址:
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=14255&catid=25&Itemid=100, 瀏覽日期: 2015/10/27。
3. 公視新聞議題中心, 2015a,〈頭條: 溪洲部落40戶淹毀 史上最大颱風災害〉, 瀏覽日期: 2015/08/18, <http://pnn.pts.org.tw/main/2015/08/10/溪洲部落40戶淹毀-史上最大颱風災害/>。
4. 公視新聞議題中心, 2015b,〈焦點議題: 我們的島--濁水啟示〉, 瀏覽日期: 2015/08/18, <http://pnn.pts.org.tw/main/2015/08/17/【我們的島】濁水啟示/>。
5. 公視新聞議題中心, 2015c,〈焦點議題: 我們的島-- 樹倒〉, 瀏覽日期: 2015/08/18, <http://pnn.pts.org.tw/main/2015/08/16/【我們的島】樹倒/>。
6. 王小璘, 何友鋒, 黃晏淨, 吳靜宜, 2011,〈生態城市評估指標體系之研究—以台中市為例〉, 《建築學報》, 第75期, pp. 115–134。
7. 王惟芬譯, 2012,《氣候變遷地圖》, (原著: *The Atlas of Climate Change*, 作者: Dow, Kirstin and Downing, Thomas E.), 臺北: 聯經出版公司。
8. 王漢國, 2014,〈對聯合國 IPCC《第五次氣候評估報告》之解析與省思〉,《戰略與評估》, 第五卷, 第二期, pp. 49–72。
9. 何東波, 2003,《綠色都市空氣淨化之動態模擬分析》, 行政院國家科學委員會專題研究報告, NSC92-2415-H006-006, 台灣, 臺北。
10. 吳信如譯, 2000,《綠色資本主義: 創造經濟雙贏的策略》, (原著: Hawken, Paul, Lovins Amory, and Lovins L. Hunter, *Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution*, James & James (Science Publishers) Ltd Earthscan.), 天下雜誌股份有限公司, 臺北。
11. 李丁讚, 2010,〈重回土地災難社會的重建〉,《台灣社會研究季刊》, 第78期, pp. 273–326。
12. 李鴻源, 2015,〈大愛電視台--人文講堂20150718台灣災害管理學: 走過傷痛—台灣的災害管理〉, 瀏覽日期: 2015/08/18, <https://www.youtube.com/watch?v=qiA4V0KYVXU&feature=youtu.be>。
13. 林肇志, 2010,《台灣舊都心再結構為宜居生活街區之指標評估系統研究》, 國立成功大學都市計劃研究所博士論文。



14. 高一中譯, 2007, 《成長的極限: 三十週年最新增訂版》(*Limits to Growth: The 30-Year Update*, 原著: 唐妮菟·米道(Donella Meadows), 斯喬詹·蘭德斯(Jorgen Randers), 丹尼斯·米道斯(Dennis Meadows)), 台北市: 臉譜出版社。
15. 郭瓊瑩, 葉佳宗, 2011, 〈自景觀生態取向之綠色基盤系統建設探討氣候變遷回應之城市治理〉, 《城市學學刊》, 第2卷, 第1期, pp.31-63。
16. 陳美智, 2009, 〈高階管理政策研議: 系統動力學方法論〉, 《組織與管理》, 第二卷, 第一期, 頁: 145-196。
17. 臺南市政府, 2015, 《臺南市區域計畫(草案)》, 臺南。
18. 齊立文譯, 2001, 《生態經濟大未來》, (原著: Davidson, Eric A., *YOU CAN'T EAT GNP: Economics as If Ecology Mattered*, The Perseus Books Group Perseus Publishing.) 經濟新潮社, 臺北。
19. 齊柏林, 2013, 《我的心, 我的眼, 看見台灣》, 圓神出版社, 台北。
20. 謝長宏, 1987, 《系統動態學—理論、方法與應用(三版)》, 中興管理顧問公司, 台灣, 台北。
21. Beatley, T., 2000, *Green urbanism: learning from European cities*, U.S.A.: Island Press.
22. Cadenasso M.L., Pickett STA, Grove JM., 2006, "Dimensions of ecosystem complexity: Heterogeneity, connectivity, and history", *Ecological Complexity*, 3, pp. 1-12.
23. Capra, F., 1994, *From the Parts to the Whole: Systems Thinking in Ecology and Education*. USA: Berkeley, CA: The Center for Ecoliteracy.
24. Chen M.C., Ho, T.P., Jan, C.G., 2006, "A System dynamics Model of Sustainable Urban Development: Assessing Air Purification Policies at Taipei City", *Asian Pacific Planning Review*, 4(1), pp.29-2.
25. Clarke, A.L., 2002, "Assessing the carrying capacity of the Florida Keys", *Population And Environment*, 23, pp. 405-418.
26. Collins J.P., Kinzig A., Grimm NB, Fagan WF, Hope D, Wu I, Borer ET., 2000, "A new urban ecology". *American Scientist*, 88, pp. 416-425.
27. Coyle, R.G., 1996, *System Dynamics Modeling: A Practical Approach*, Chapman & Hall, New York.
28. Dijkman, J., 1999, "Carrying capacity: outdated concept or useful livestock management tool?" In: *Grassland Group of the Crop and Grassland Service (AGPC) of FAO for the FAO/AGAP electronic conference on "Livestock- Coping with Drought"*. FAO, <http://www.odi.org.uk/pdn/drought/index.html>.
29. Forrester, J.W., 1969, *Urban Dynamics*, Waltham, MA: Pegasus Communications.



30. Forrester, J.W., “System Dynamics – Future Opportunities”, *TIME Studies in the Management Sciences*, 14, pp. 7–21, 1980.
31. Gallanter, E., 2012, “Ciudad Jardín Lomas del Palomar: deriving eco-city design lessons from a garden city”, *Planning Perspectives*, 27 (2), pp. 297–307.
32. Gilmour, J.K., Letcher, R.A., Jakeman, A.J., 2005, “Analysis of an integrated model for assessing land and water policy options”, *Mathematics and Computers in Simulation*, 69, pp. 57–77.
33. Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A., Cogan, V., 2004, “MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale”, *Mathematics and Computers in Simulation*, 64, pp. 13–24.
34. Grimm, N.B., Grove, J.M., Pickett, S.T.A., Readman, C.L., 2000, “Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems”, *BioScience*, 50, pp. 571–584.
35. Haraldsson, H.V., Ólafsdóttir, R., 2006, “A novel modelling approach for evaluating the preindustrial natural carrying capacity of human population in Iceland”, *Science of the Total Environment*, 372, pp.109–119.
36. Harris, J.M., Kennedy, S., 1999, “Carrying capacity in agriculture: globe and regional issue”, *Ecological Economics*, 29, pp. 443–461.
37. Jan, C.G., 2003, “Policies for developing defense technology in newly industrialized countries: a case study of Taiwan”, *Technology in Society*, 25(3), pp. 351–368.
38. Jan, T.S., Jan, C.G., 2000, “Designing Simulation Software to Facilitate Learning of Quantitative System Dynamics Skills: A Case in Taiwan”, *Journal of the Operational Research Society*, 51, pp. 1409–1419.
39. Kafkoulas, K., 2013, “On garden-city lines: looking into social housing estates of interwar Europe”, *Planning Perspectives*, 28(2), pp. 171–198, <http://dx.doi.org/10.1080/02665433.2013.737708>.
40. Kessler J.J., 1994, “Usefulness of the human carrying capacity concept in assessing ecological sustainability of land-use in semi-arid regions”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 48, pp. 273–84.
41. Lane, M., 2010, “The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning”, *Land Use Policy*, 27, pp. 1038–1045.
42. Li, H.F., Xing, C.Z., Gao, Y.L., 2008, “Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China”, *Mathematics and Computers in Simulation*, 79, pp.269–278.



43. Long, T.R., Jiang, W.C., He, Q., 2004, “Water resources carrying capacity: new perspectives based on eco-economic analysis and sustainable development”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 35, pp. 38–45.
44. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., 1992, *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*, Chelsea Green: Post Mills, VT.
45. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W.III, 1972, *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind*, New York: Universe Books.
46. Monte-Luna, P. del, Brook, B.W., Zetina-Rejón, M.J., Cruz-Escalona, V.H., 2004, “The carrying capacity of ecosystems”, *Global Ecology and Biogeography*, 13, pp. 485–95.
47. Motohashi, Y., Nishi, S., 1991, “Prediction of end-stage renal disease patient population in Japan by system dynamics model”, *International journal of epidemiology*, 20, pp. 1032–1036.
48. Odum, T.H., 1996, *Environmental accounting: emergency and environmental decision making*, New York: John Wiley and Sons.
49. Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Groffman, P. M., Band, L. E., Boone, C. G., Burch Jr., William R., Grimmond, C. S. B., Hom, J., Jenkins, J. C., Law, N. L., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Szlavecz, K., Warren, P. S., Wilson, M. A., 2008, “Beyond Urban Legends: An Emerging Framework of Urban Ecology, as Illustrated by the Baltimore Ecosystem Study”. *BioScience*, 58(2), pp. 139–150.
50. Roberts, E. B., et al., 1978. *An Introduction, in: Managerial Applications of System Dynamics*, Waltham, MA: Pegasus Communications, U.S.A., pp.3-35.
51. Sterman, J.D., 2000, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: Irwin McGraw-Hill.
52. Wheeler, S., 1996, *Sustainable Urban Development: A Literature Review and Analysis*, University of California at Berkeley Press, California.
53. Woodward, F.I., 1992, “A review of the effects of climate on vegetation: ranges, competition and composition”, In: Robert L., Lovejoy P., Lovejoy T.E., *Global warming and biological diversity*, New Have: Yale University Press, pp. 105–23.

