

## 土地資源核心議題— 土地系統動態變遷之因果與機制研究

林裕彬\* 詹士樑\*\* 陸曉筠\*\*\* 江莉琦\*\*\*\* 徐家雯\*\*\*\*\*  
林昭遠\*\*\*\*\* 劉小蘭\*\*\*\*\* 吳振發\*\*\*\*\*  
林峰田\*\*\*\*\* 李慧琳\*\*\*\*\* 陳佳正\*\*\*\*\*  
莊振義\*\*\*\*\* 羅敏輝\*\*\*\*\*  
簡旭伸\*\*\*\*\* 連宛渝\*\*\*\*\*  
余佳珍\*\*\*\*\* 吳岱蓉\*\*\*\*\*  
林士淵\*\*\*\*\*

論文收件日期：106年11月03日

論文修訂日期：107年10月03日

論文接受日期：107年10月08日

### 摘 要

土地利用與覆蓋變遷（LUCC）主要由社會經濟發展（人為力量）和全球氣候與環境變化（自然力量）所引起，並直接或間接地與區域性的地球物理產生相互作用，從而影響地質、大氣、氣候和水文環境，過程中可能會引起災難，加上土地利用與覆蓋變遷，有可能使得該情況加劇。此外，環境條件與經濟、發展和治理的聯結至關重要，這樣的交互影響若是無合理的整合與規劃，可能影響國家的永續發展。

台灣是一個致力於發展永續性策略與管理的國家，然而過去二十年來仍持續的發生大面積的土地利用與覆蓋變遷，洪水、乾旱和山崩事件頻發，且災害嚴重性顯著的增加。有鑑於此，本研究首先檢視台灣土地系統的驅動因素，動態變遷和機

制，並討論都市、鄉村、坡地、海岸地區的發展現狀和關鍵議題，進一步探討自然力量與人為制度間的整合性策略，從而建立一個可以用於評估和促進台灣土地資源韌性和永續性的綜合框架。

關鍵詞：土地利用覆蓋變遷、全球土地資源計畫

- 
- \* 特聘教授，國立臺灣大學生物環境系統工程學系。
  - \*\* 教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。
  - \*\*\* 副教授，國立中山大學海洋環境及工程學系。
  - \*\*\*\* 副教授，國立聯合大學土木與防災工程學系。
  - \*\*\*\*\* 博士生，國立中山大學海洋環境及工程學系。
  - \*\*\*\*\* 教授，國立中興大學水土保持學系。
  - \*\*\*\*\* 特聘教授，國立政治大學地政學系。
  - \*\*\*\*\* 教授，國立中興大學園藝學系，TEL：(04)22840341#805，  
E-mail：cfwu@dragon.nchu.edu.tw。
  - \*\*\*\*\* 特聘研究員，國立成功大學研究發展基金會。
  - \*\*\*\*\* 副教授，國立政治大學經濟學系。
  - \*\*\*\*\* 助理教授，國立中興大學土木工程系。
  - \*\*\*\*\* 副教授，國立臺灣大學地理與環境資源學系。
  - \*\*\*\*\* 副教授，國立臺灣大學大氣科學系。
  - \*\*\*\*\* 教授，國立臺灣大學地理與環境資源學系。
  - \*\*\*\*\* 博士後研究員，國立臺灣大學生物環境系統工程學系。
  - \*\*\*\*\* 博士後研究員，國立臺灣大學生物環境系統工程學系。
  - \*\*\*\*\* 研究助理，國立臺灣大學生物環境系統工程學系。
  - \*\*\*\*\* 副教授，國立政治大學地政學系。

# Land Resources Core Project - Modeling Dynamic Change and Mechanisms of Land Systems

**Yu-Pin Lin\***, **Shih-Liang Chan\*\***, **Shiau-Yun Lu\*\*\***,  
**Li-Chi Chiang\*\*\*\***, **Chia-Wen Hsu\*\*\*\*\***, **Chao-Yuan Lin\*\*\*\*\***,  
**Hsiao-Lan Liu\*\*\*\*\***, **Chen-Fa Wu\*\*\*\*\***,  
**Feng-Tyan Lin\*\*\*\*\***, **Huey-Lin Lee\*\*\*\*\***,  
**Chia-Jeng Chen\*\*\*\*\***, **Jehn-Yih Juang\*\*\*\*\***,  
**Min-Hui Lo\*\*\*\*\***, **Shiuh-Shen Chien\*\*\*\*\***,  
**Wan-Yu Lien\*\*\*\*\***,  
**Chia-Jen Yu\*\*\*\*\***,  
**Dai-Jung Wu\*\*\*\*\***,  
**Shih-Yuan Lin\*\*\*\*\***

## ABSTRACT

Significant land use/cover change (LUCC), primarily induced by socioeconomic development (anthropogenic forcing) and global climatic/environmental change (natural forcing), can interact directly or indirectly with regional geophysical processes, thereby affecting atmospheric, climatic and hydrological conditions. Some of these conditions could cause devastating disasters, which might be further aggravated by LUCC. The relationship that these conditions have with economy, development and inter-sectoral governance is of utmost importance. Such intersections have the potential to encumber the sustainable management ideology of a nation if inappropriate acts are implemented and citizens struggle to cope.

Taiwan is a country devoted to sustainable management. Despite this, it has been experiencing tremendous LUCC as well as notable increases in the frequency and severity of floods, droughts, and landslide events during the last two decades. Therefore, this study investigated the driving factors, dynamic changes and mechanisms of land systems in Taiwan, review and identify the current status and critical issues in urban, rural, slope and coastal areas, to further examine the necessary strategy that could conduct the natural and institutional dimensions, and thus, build an integrated framework that assess and promote the resiliency and sustainability of land resources in Taiwan.

**Key words:** Land Use/Cover Change, Global Land Programme

- 
- \* Distinguished Professor, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University.
  - \*\* Professor, Department of Real Estate & Built Environment, National Taipei University.
  - \*\*\* Associate Professor, Department of Marine Environmental and Engineering, National Sun Yat-sen University.
  - \*\*\*\* Associate Professor, Department of Civil and Disaster Prevention Engineering, National United University.
  - \*\*\*\*\* Doctoral student, Department of Marine Environmental and Engineering, National Sun Yat-sen University.
  - \*\*\*\*\* Professor, Department of Soil & Water Conservation, National Chung Hsing University.
  - \*\*\*\*\* Distinguished Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University.
  - \*\*\*\*\* Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, TEL: +886-4-22840341#805, E-mail: cfwu@dragon.nchu.edu.tw.
  - \*\*\*\*\* Distinguished Researcher, NCKU Research and Development Foundation.
  - \*\*\*\*\* Associate Professor, Department of Economics, National Chengchi University.
  - \*\*\*\*\* Assistant Professor, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.
  - \*\*\*\*\* Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Associate Professor, Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Professor, Department of Geography, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Postdoctoral Research Fellow, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Postdoctoral Research Fellow, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Research Assistant, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University.
  - \*\*\*\*\* Associate Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University.

## 一、前言

土地系統 (Land System) 代表了地球系統的陸地部分，土地系統中土地覆蓋是指地球表面 (例如：水、植物和人為特徵)，而土地利用則是在人類活動之土地上改變或保持它的物理覆蓋 (Turner et al., 1995; Tayyebi et al., 2014; Ozturk, 2015)。土地系統科學在過去的二十年已經發展了土地利用和土地覆蓋變遷的研究，初期主要是採用監測與模擬的方式分析土地覆蓋變遷對生態環境的衝擊，如自然系統的森林砍伐和荒漠化 (Turner et al., 1993; Lambin et al., 1999; Lambin et al., 2006; Verburg et al., 2013)。漸漸地研究領域開始整合，並聚焦於土地變遷的驅動因素與造成的衝擊，同時部分研究學者開始探討全球環境變遷。長期以來，土地利用的研究成為區域科學、自然科學、生態學研究、永續發展領域中的重要議題 (Hof et al., 2011; Lapola et al., 2013; Hansen et al., 2013; Meyfroidt et al., 2013; Kyle et al., 2015)。因此，土地系統科學是一個高度整合的領域，涵蓋社會科學和自然科學 (Verburg et al., 2013)，例如地球、環境和大氣科學研究的應用都在關注土地利用變遷 (land use change, LUC) 與土地覆蓋 (land cover, LC) 及相關生態系統過程所產生的影響 (NRC, 2007)，其涉及自然科學與社會科學。土地系統科學已經成為全球環境變遷研究的一個整合性科學，且提升理解土地利用管理的決策過程，進而提供評估影響人類活動和耦合人類環境系統 (human-environment system) 內反饋因素交互作用的機制，更可為減緩 (mitigation) 和適應 (adaptation) 環境變化提供更多潛在性的選項，例如，透過改變土地系統架構進行環境變遷衝擊調適 (Turner et al., 2013)，以達到土地資源永續利用 (sustainable resources) 的目的，亦扮演著達成永續未來地球 (Sustainable future earth) 關鍵性角色。

土地系統的改變不僅是地區性的變化，更已延伸影響至全球的環境變遷，目前由IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) 與IHPD (International Human Dimensions Programme) 推動之Global Land Programme (GLP) 是整合Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE) 與Land Use/Cover Change (LUCC) 計畫，嘗試共同建立在全球變遷下未來的土地系統研究架構，更深入了解人與環境的互動機制 (圖1)。

此外，2014年International Council for Science (ICSU) 整合其與全球環境變遷相關的科研計畫，進一步發展出以探究全球永續發展為主軸的Future Earth計畫。

為呼應ICSU的 Future Earth計畫，中央研究院在2013年舉行「Future Asia Brainstorming Session - Taipei」討論會，邀請亞洲地區多位科學家進行相關議

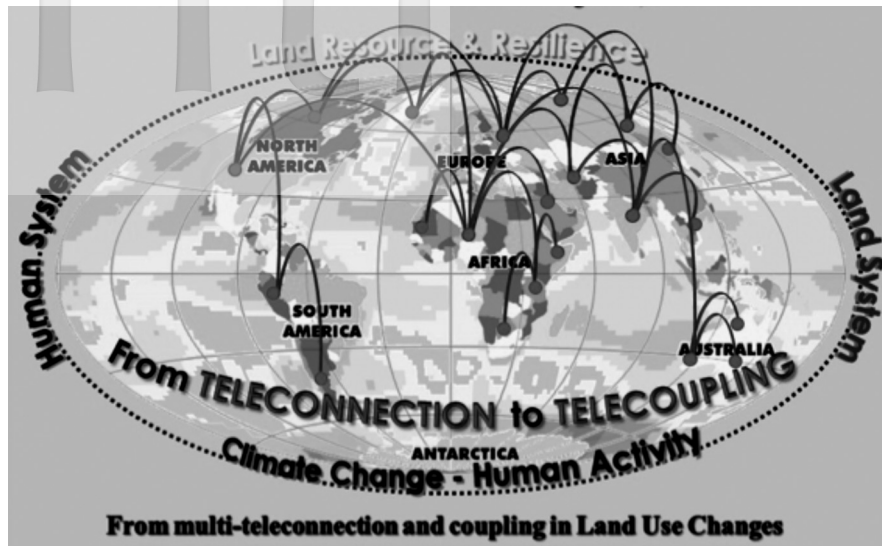


圖1 全球環境變遷與土地資源發展之概念圖

題的討論，會中提出亞洲地區永續科學之五大研究重點，包括沿海地區變遷（coastal zones）、都市化（urbanization）、核心價值（core values）、人口問題（population）、能源（energy）等，其中沿海地區變遷、都市化與土地資源管理間具有直接或間接相關性。除此之外，隨著國土計畫法與國家氣候變遷調適政策綱領的頒布，有關氣候變遷對國土空間與自然資源所產生衝擊的議題，受到政府部門的重視，並將「土地使用」領域列為氣候變遷調適重點領域之一，顯示此一議題已在國內得到相當關注與討論。

土地資源計畫的核心任務在於了解土地系統是人類與自然環境相互作用的結果，了解不同土地系統對社會和自然演變過程中的驅動因素、狀況、趨勢和影響，了解土地系統的變化是如何影響社會生態系統的功能，同時釐清社會和環境系統之間、城鄉之間的反饋關係。因此，在科技部自然司永續學門於2013年推動七個不同領域之核心計畫，其中「土地利用」核心計畫是以GLP（Global Land Programme）之架構為基礎，透過全球氣候變遷、總體經濟衝擊之分析，探究對未來台灣土地系統可能造成之衝擊與反饋作用，進而研擬國土空間規劃與自然資源管理的策略。全球或國土尺度之環境系統中，所涵蓋的土地、社會及生態三個子系統彼此間具有相互作用與反饋的關係（Verburg et al., 2013），三個子系統在環境永續發展中具有相互平衡、缺一不可的特性（圖2）。當土地子系統中的土地管理、利用或覆蓋之變化趨勢較為劇烈時，將對社會及生態子系統造成直接或間接的影響，例如河口與海

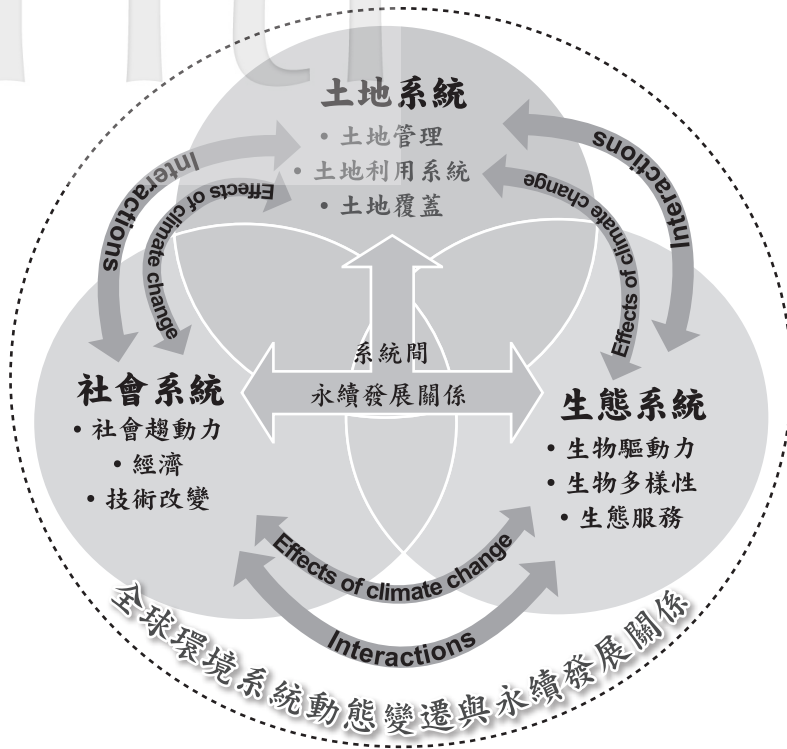


圖2 土地資料核心計畫概念圖

岸開發造成濕地生態系統功能的降下，以及沿海漁村收穫減少，降低經濟收入。若社會子系統中的驅動力及技術改變較大時，則可能對土地及生態子系統造成嚴重的衝擊影響，例如：建設道路的技術的提升，降低開發成本，增加新建道路穿用生態敏感區的可行性，對於生態棲地造成直接或間接的影響。若生態子系統中的生物驅動力、多樣性及生態系統服務急遽改變，則可能對土地、社會子系統造成不同程度的影響，例如：台灣近年來，有感於海岸及內陸濕地的快速減少，劃定國家重要濕地範圍，管制土地利用與社會經濟活動，已維持其生態系統之完整性或稀有性。因此，必須以整體系統的觀點觀察子系統間的平衡與相互調適關係。

綜合上述，土地資源核心計畫的研究議題有三，首先是探討土地系統變遷之動態性與遙聯繫，其次是探討土地、社會、生態系統之互動與反饋，第三則是討論土地系統之永續治理與政策效益。以下分別說明三大議題的內涵及其子議題的研究方向，最後提出未來整體研究方向之建議。

## 二、土地系統變遷之動態性與遙聯繫

遙聯結 (teleconnection/telecouple) 觀念最早是用在氣候科學，意指一地區的氣候是受到遙遠地區的自然作用所影響，例如美國西部的乾旱是受到大西洋洋流的影響，或者土地使用 (例如砍伐森林、能源使用) 有可能產生遙遠地區的氣候異常現象 (Cardille and Bennett, 2010)。Liu et al. (2013) 則由系統觀點提出必須由人與環境的遠距複合關係 (telecoupled) 思考永續性議題，並點出過去研究都只將影響一地區發展的動力視為外生變數 (exogenous variables)，且極少考慮該地區對遠距地區回饋影響。

而土地變遷科學 (land change science) 因其涵蓋的研究領域包括大氣、社會、經濟、地理與自然科學等 (Turner et al., 2007)，且土地利用/覆蓋變遷具有時間、空間、系統、人類活動等多重複雜性，並在不同的社會系統、生態系統、土地利用系統、全球與區域環境變遷等因素影響下，形成複雜與彼此交互作用的系統、回饋作用 (Turner et al., 1995; Meyfroidt et al., 2013; Verburg et al., 2013)。因此，土地利用調適行為所帶動的驅動力與衝擊間的回饋關係，逐漸受到重視 (Verburg, 2006)，世界地理區間、城市之間、城市鄉村間的社會與生態系統相互作用與遙聯繫等 (Liu et al., 2013)，已形成一個土地-社會-生態系統的整合性系統。整合不同領域專長之學者以整合性觀點進行複雜的土地驅動力、回饋作用、遙連繫之探討是現階段土地系統科學研究的方向。區域大氣、水文氣象、土地覆蓋變遷之動態性與遙連繫，以及經濟、環境永續、土地利用之動態性與遙連繫兩個議題正值得深入討論。

### (一) 區域大氣、水文氣象與土地覆蓋變遷之動態性與遙聯繫

由社會經濟發展與全球氣候及環境變遷而導致區域的土地利用與覆蓋變遷 (Land Use/Cover Change, LUCC)，可與該區域的氣象與氣候產生直接或間接的交互作用。全球土地計畫 (Global Land Programme, GLP) 下的科學規劃與實現策略 (GLP, 2005) 明確地指出探討此交互作用研究的重要性，並可延伸討論至極端氣候的變異性與對生態系統的回饋作用。關於LUCC一階衝擊於區域氣候之途徑，許多前人研究已指出乃因LUCC造成的地表能量與水收支的重新分配，而造成如土壤濕度、蒸發散、及河川逕流等變化，以至於上層大氣環流場隨之變化 (Pielke, 2001; Kanamitsu and Mo, 2003; Lo and Famiglietti, 2013)；其他研究更指出此類衝擊可延伸至更為廣闊與遙遠的區域，又可稱為遙聯繫 (Yeh et al., 1984; Wey et al., 2015)。



LUCC對於極端氣候的變異性有所影響，如區域豪大雨的變異（Feddema et al., 2005）及豪大雨物理機制與對流系統啟動原因（Findell and Eltahir, 2003 a, b; Juang et al., 2007; Wu and Dickinson, 2005）等。另LUCC造成大氣環流場變化，如海陸風與垂直氣流的改變，可直觀聯想會對空氣污染物（如PM10）的傳輸與空間分佈產生影響，部分學者利用中尺度模式如Weather Research and Forecasting（WRF）模式搭配其化學模組（WRF-Chem）以及都市冠層模式（Urban Canopy Model, UCM）進行深究（Lin et al., 2008; Zhu et al., 2007）。近年台灣地區已有研究對WRF模式中預設之土地利用資料進行敏感度測試（如戴俐卉等，2008；許郁，2011；林冠伶，2014），以求模擬更接近台灣真實情況，並更加準確。亦有學者於台灣不同地區，以WRF的不同地表模式（e.g., Noah），結合UCM模式進行研究（Lin et al., 2008; Lin et al., 2016），探討LUCC與都市化衝擊與區域環流特性之關係。

目前，解析函數、統計模式、以及動力模式（WRF與Noah）等多元分析方法，已被應用於探究台灣LUCC對區域水文氣象之衝擊，延續此趨勢，仍有三項「土地利用與覆蓋變遷、區域大氣與水文氣象，以及兩者與大尺度氣候變異交互作用」的研究議題值得深入探究：

### 1. 區域氣候變遷與生態環境系統鏈結

呈上所述，在瞭解LUCC對於區域氣候的一階衝擊後，進一步的課題即為瞭解在區域氣候的改變下對區域內生態系統的影響，例如：空氣污染與傳染性疾病（Wai et al., 2017）逐漸受到各級政府的重視，如何建構資料蒐集與資料庫建模技術？開發適當台灣的模擬模式？探討台灣不同傳染疾病擴散特性及防治策略？等都是現階段待深入研究的主題。

### 2. 耦合模式對比計畫下發展氣候變遷與土地利用變遷模擬與評估方式

地球尚處於代謝人為造成的暖化階段，氣候持續的變遷已是不爭的事實，因此進行未來土地利用與覆蓋的預測，必須同步評估其與氣候變遷、極端氣候、生態與環境系統衝擊之相關性或互動關係，目前已發展出耦合模式對比計畫（Coupled Model Intercomparison Project），依循此架構可進一步發展台灣的模擬與評估方法。

### 3. 耦合大氣模式與土地利用覆蓋變遷模式之交互作用動態模擬

上述兩種研究主題，屬於一階或單向的衝擊評估，即LUCC下能量收支、水氣、環流、空污、與疾病等之變化，然而這些變量可轉化為下一階段土地利用與覆

蓋變遷的驅動因子，因此如何更合理、有效地將上述的變量再次回饋至土地利用與覆蓋變遷模式中，產出新的土地利用資料，並再一次回饋至大氣模式中進行動態的模擬，更清晰地展現出兩者間交互作用關係，亦是現階段值得發展的研究主題。

## (二) 經濟、環境永續、土地利用之動態性與遙聯繫

土地利用變遷是人口及經濟發展過程中對自然及人為環境造成影響的表現 (Koomen et al., 2007)，追求經濟與社會的永續發展則需仰賴土地與環境生態系統服務之正常運作，來持續提供良好的基礎環境。由國際科學理事會 (International Council for Science, ICSU) 所倡議的『未來地球』 (Future Earth) 計畫正積極鼓勵相關學術領域研究建構連結經濟與土地利用之整合空間決策支援系統 (Integrated Spatial Decision Support Systems, ISDSS)，以協助世界各國在追求社會經濟發展過程中亦能在土地利用及規劃上採取正確且有效的策略，以確保環境的永續發展。台灣正面臨同樣的問題，尤其是台灣的面積較小，土地利用及空間規劃如何適當的規劃，對於台灣追求經濟及環境的永續發展上更顯重要。

台灣在其經濟發展過程中積極與國際市場接軌，因此，全球貿易對於台灣之產業發展影響甚鉅。在經濟發展的歷史進程中，台灣從六零年代以農業為主的經濟結構逐步轉型至現今以製造業 (尤其是電子與資訊產業) 及近期大幅成長的服務業作為經濟成長之主要動能，其中，對外貿易一直是支撐台灣產業發展與成長的主力。土地是農業與工商業生產經濟活動所不可或缺的投入，在此經濟發展與轉型的過程中，台灣土地利用亦深受影響。隨著跨國運輸技術進步，全球貿易越趨蓬勃發展，台灣的工業產品得以行銷國際，工業用地需求亦隨之成長。在追求經濟成長的思維下，工業挾其土地報酬率遠高於農業，在全國搶地，以致大量農地轉為工業用途<sup>1</sup>，農業耕地面積逐年縮減，農地所提供之生態系統服務亦因此受到影響。在全球化日益熱絡的趨勢下，台灣經濟體與全球經濟的連結與相互依賴程度將更加深化，尤其是在工業產品的出口及農產食品的進口。台灣本土的土地利用，不管是農業或是工業用途，將無法自外於國際經濟發展的影響。

由於跨領域連結需要投入相當多的心力溝通與相互理解，直到近期才有更進一步的整合評估模式出現。Van Delden and McDonald (2010) 回顧並比較四個整合空間決策支援系統模型，分別是：LUMOCAP (Van Delden et al., 2010)、WISE (Rutledge et al., 2008)、Eururalis (Verburg et al., 2008)、MedAction (Van Delden

1 近二十年來都市快速發展衍生用地需求的增加 (作為住宅、商業、交通及公共設施之用)，其亦出現與農業爭地的現象。

et al., 2007)。此四個系統模型在經濟模型的選擇上各有其特色，但經濟連結均涵蓋總體多部門。有鑑於氣候變遷、國際經濟情勢變遷會影響全球土地利用，同時也會藉由貿易與經濟的管道影響國內之土地利用型態，因此發展氣候變遷-經濟-土地利用變遷整合模式，是下一階段重要的研究課題。例如 Eururalis計畫建議整合GTAP全球貿易可計算一般均衡模型及IMAGE氣候變遷整合評估模型（Alcamo et al. 1998; Strengers et al. 2004），用以計算在氣候變遷情境下個別國家之農地需求，並且可進一步連結土地利用變遷空間模型（例如：CLUE-s模式），將土地需求轉換為土地利用型態。

### 三、土地、社會、生態系統之互動與反饋

土地利用與全球環境改變將帶動土地系統變化，包括人與生態系統間的相互回饋，皆是地球系統科學重要的議題。透過大尺度生態系統服務的變化，能夠更了解其對人類的反饋；而透過土地管理策略的改變，也更能夠理解其對生態系統的反饋；對生態系統的反饋也可能包括了對社會變化的反饋。生態系統服務的變化顯著地影響人類賴以維生的社會-環境系統之生存力、生產力與穩定性，土地管理決策則可能影響不同生態系統服務間的穩定性，以確保社會、經濟、環境系統做好應對之準備，以避免環境衝擊之發生或減緩衝擊之影響，並利用各種機會創造出優勢，空間規劃著眼於中長期與長期的土地議題進行管理與利用，並強調應與各個規劃層級相結合，而結合空間規劃是做為執行減緩、調適的重要手段（Rannow et al., 2010）。以下分別說明都市、鄉村、坡地、海岸地區之土地、社會、生態系統之互動與反饋的重要研究議題。

#### （一）都市土地、社會、生態系統之互動與反饋

根據國發會都市及區域發展統計彙編得知，1973年台灣地區共劃設的都市計畫數為150處，至2016年增加至435處，都市計畫規劃的面積擴張將近三倍，由1,630平方公里增為4827平方公里。大量的產業及人口移居都市的結果，造成自然土地不斷被轉變為都市使用，原有都市內部地使用密度亦不斷增加。然而都市地區在空間上包括了異營性系統的都市，以及自營性的環境生態系統，隨著快速的都市化與都市擴張，導致土地利用變遷而衍生各項環境衝擊，包括生物棲地減少、生物多樣性威脅、水文改變（Whitford et al., 2001; Pauleit et al., 2005）、土壤劣化、區域與全

球氣候變遷（Whitford et al., 2001; Kalnay and Cai, 2003; Pauleit et al., 2005; Findell et al., 2007）、碳儲存減少（Whitford et al., 2001）等等。1971年至2011年間，台灣都市及其周邊地區的自然土地隨著都市擴張而減少，而都市地區內的自然土地，也有縮減趨勢。鄰近海岸的西半部都市發展面臨因氣候變遷所導致的海平面上升、強降雨與強烈的海浪，以及地層下陷與快速都市成長等影響，導致產生都市災害之脆弱度不斷增高。

國際研究機構也逐漸重視都市化與環境變遷的關聯性。全球環境變遷人文面向研究（International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change，簡稱IHDP）組織為了深入瞭解地區、區域或全球等不同尺度下的都市化與全球環境變遷之互動關係與反饋效果，於2005年研擬核心研究議題「都市化與全球環境變遷」（Urbanization and Global Environmental Change，簡稱UGEC）。UGEC強調全球環境變遷既為都市地區經濟、政治、文化、社會過程的驅動力，也是這些過程所造成的後果，故都市化可以同時被視為全球環境變遷的內生與外在因素。都市如何因應全球氣候變遷在全球永續議題下之都市永續性，已成為重要的議題。因此，本文提出以下未來都市土地、社會、生態系統之互動與反饋的議題：

### 1. 影響台灣地區都市土地利用變遷驅動力之探討

都市化產生之都市蔓延造成土地利用及土地覆蓋之改變，將影響全球的生物多樣性、導致氣候變遷，而且生態系統服務功能的改變，更影響生物系統支持人類需求的能力，過去研究較少以土地利用變遷及變遷驅動力為議題探討都市蔓延之影響，因此探討台灣地區都市化所產生都市蔓延之土地使用與地表覆蓋變遷分析，為一重要之課題。此外，台灣人口呈現逐漸減少的趨勢下，中小型都市面對大都市的拉力競爭，將面臨萎縮都市的困境，此部分衍生的都市空間調整、財產權變動等，進而改變台灣整體的都市體系，這個課題會需要一些基礎研究，以支援後續政策設計。

### 2. 產業發展對台灣都市土地利用變遷影響之探討

都市範圍內的自然土地，具有環境、生態、景觀、社會文化、健康、防災等機能，故其發展與規劃，是解決範圍內都市成長擴張所衍生各項環境衝擊，以及實踐永續發展目標的重要方式。但因都市範圍中，各都市的擴張程度與速度不一，使得被轉用或破壞的程度亦有所不同，進而造成自然土地整體上之分布與變遷之不同，為有效發揮都市土地系統規劃之效果，在規劃前須先瞭解都會市內及其周邊自然土地變遷趨勢，並釐清影響該變遷之關鍵影響因素。此外，由於區域間的社會、文

化、產業與生態功能間有相互影響之遙聯繫（teleconnection）現象，因此找出區域間的自然系統、人文系統與環境變遷中的遙聯繫，亦為重要之課題。

### 3. 都市土地利用與環境間之關係

都市化過程中，自系統及土地使用的轉變是不可避免的，布蘭德世界環境與發展委員會（Brundtland Commission- World Commission on Environment and Development, WCED）指出許多嚴重的環境問題是起因於快速的都市成長，因此發展都市土地利用與環境間關係之分析模式，探討台灣地區都市土地使用變遷對環境之影響亦為重要之課題。例如應用最小平方法分析綠地變遷對空氣品質與微氣候之影響，結合支持向量機（Support Vector Machine, SVM）與偏最小平方法預測都市空氣中的CO<sub>2</sub>排放濃度，結合偏最小平方法、多元多項式回歸、人工神經網絡進行印度城市空氣質量預測，結合水文模型與偏最小平方法，分析都市土地使用變化對泥沙沉澱量與徑流之影響等。

### 4. 韌性都市土地利用管理策略

目前為了降低氣候變異所產生之影響，聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）提出減緩（Mitigation）與調適（Adaptation），而韌性都市（Resilient city）為在社會、經濟、技術體系及基礎建設上，能夠抵抗未來衝擊及壓力，以維持相同功能、結構、系統（Janssen et al., 2006），韌性都市成為當代永續都市發展之重要觀念。在面對氣候變異下，全球各大都市皆期許邁向韌性都市，以降低氣候變異所帶來之衝擊。因此制定韌性都市之土地使用管理策略亦為一重要之議題。

## （二）鄉村土地、社會、生態系統之互動與反饋

鄉村地區通常是農業生產區域，具備糧食生產、生態服務功能，然而其低土地成本、緊鄰都市地區的特性，往往成為土地開發、都市擴張、公共建設用地取得的主要區域，導致糧食生產條件降低、地景破碎、生態棲地品質降低、生態系統服務能力下降等；又或者是農業政策的改變，導致農業生產行為改變，土地利用型式亦發生變化的情形，例如台灣的農業休耕補助政策等，部分的地區休耕補助的金額高於種植稻米的所得，導致部分農地廢耕。因此造成鄉村地區土地利用發生變化的力量是多元的，包括自然環境、農業經濟、社會因素、土地規劃、農業政策等，甚至是國土計畫、都市計畫亦可能為重要的影響因子；除此之外鄉村土地利用變遷動態驅動及遙聯繫因素之探討、人口減少趨勢下鄉村土地變化趨勢與環境效益評估、韌性鄉村土地利用管理策略效益評估等是未來重要的研究議題。

### 1. 鄉村土地利用變遷動態驅動及遙聯繫因素

鄉村土地利用變遷影響因素有些是長久性的影響因素（例如：土壤、降雨量、氣候條件等），有些是短期較造成明顯變化因素（例如：土地開發、農地重劃），其作用時間點、影響期程等對於土地利用所造成的波動性改變，是一個值得探討的議題。另一方面，除了台灣區域內的影響因素，區外遙聯繫（teleconnection/telecouple）的概念開始導入土地系統研究領域，也就是說鄉村地區的土地利用變遷收到世界各國之影響，例如：國際糧食市場價格的變化將影響台灣稻米種植的面積，日本水果價格將影響台灣果園種植面積等，全球氣候變異對於農業作物生長與生產亦造成影響，包括種植的區域的改變、產量的減少、改種其他作物等情形。總體言之，鄉村土地變遷是一連續性的複雜過程，受到區內、區外不同因素的影響，且各因素影響的時間與範圍可能不同，造成的影響亦可能有所差異，釐清台灣鄉村地區土地利用變遷之因果關係及遙聯繫，將是未來值得深入探究的主題。

### 2. 人口減少趨勢下鄉村土地變化趨勢與環境效益評估

國家發展委員會（2016）提出的中華民國人口推估報告指出，過去50年來，我國婦女生育率呈長期下降趨勢，未來總人口負成長預估於110至114年間發生，直至150年我國總人口數將約是105年的72.5%~82.8%。在此趨勢下，若人口持續往都市計畫區集中，則鄉村區的人口數下降的幅度更大，未來土地開發的需求將大幅減少，甚至可能出現已開發的土地（堆置場、違規農舍）重新做為農業或造林使用。如此一來，土地利用變遷的影響因子、變遷區位、轉變方式將有別以往，土地重新回歸農業與林業使用後，使得糧食自給率、生態價值、生態系統服務、環境價值之貢獻為何，則是下一階段值得深究的議題。

### 3. 韌性鄉村土地利用管理策略效益評估

2014年全球生態、農業與鄉村向上推升行動論壇（Global Ecology, Agriculture and Rural-Uplift Programs, GEAR UP Forum）提出韌性農業的倡議，指出農業地區面對自然與人為的衝擊，需建構其因應變遷能力，同時能夠維持其運作機能；2015年的GEAR UP Forum進一步提出韌性農村的觀念，指出鄉村地區的農村社區面對自然與人為的災害，應具備因應變遷能力，能夠自主維持其運作機能。面對氣候變異、鄉村土地管理政策之改變、人為活動與自然災害的多重干擾下，探討韌性鄉村可恢復之程度與影響，及發展臺灣韌性鄉村之土地利用管理模式是刻不容緩的議題。除此之外，發展由上而下（例如CLUE-s Model）及由下而上（例如CA Model）的土地利用變遷整合模式，更貼切現實的土地利用變化機制模式仍值得研

究學者投入心力研究，並以此為基礎，應用於評估韌性鄉村之土地利用管理策略效益，做為未來台灣鄉村區管理機制研擬之參考。

### （三）坡地土地、社會、生態系統之互動與反饋

台灣早期森林資源豐富，加上高山林地之地理環境，生物種類亦具多樣性（林國彰，2003；顏仁德，2005）。然而在人口密度快速上升及有限土地資源下，土地開發不得不向山坡地移動，山坡地之森林區位因人為開發轉為農地或建地（王親仁與賴玲慧，2011），此變遷衍生出淹水、水質汙染及崩塌等環境問題。因此，分析台灣土地及水資源變遷、集水區重大災害事件之影響因素，有助於建構坡地土地變遷熱點區位之管理模式。未來重要的研究議題主要有二，分別是集水區災害之風險評估、治理區位及效益評估，以及土地利用變遷、坡地災害、管理策略之互動模式建制。

#### 1. 集水區災害之風險評估、治理區位及效益評估

集水區水患及土砂災害可區分為點源及非點源，並可依源頭（source）、路徑（path）、沉池（sink）來描述其運移情形（柯佑霖與黃文政，2016）。以極端暴雨為例，其水文氣候因子來自於其他區域，對台灣集水區產生崩塌、土石流或淹水等事件，其事件發生源頭與受災區位（保全對象）之位向關係間具有遙聯繫關係，未來可針對此議題進行研究。進一步可探究淹水災害（非點源）、土石流（點源及非點源）、崩塌（點源）之災害風險及影響範圍，據以提出防（減）災對策擬定之參考。集水區水患及土石流之發生，主要是上游強降雨並發生崩塌，以渠道系統為移動路徑將其串聯起來，構成源頭料源、傳輸路徑、下游致災點位間之連結關係。未來可透過土地利用變遷分析及相關環境指標之萃取，分析集水區保水能力變化及崩塌發生重點區位，進行生態服務系統變化分析；進一步可發展水土保持治理模擬方法，評估集水區水患及土砂災害治理之成效。

#### 2. 土地利用變遷、坡地災害、管理策略之互動模式建制

坡地保水能力的主要影響因子為土壤條件與地表覆蓋情形（Soil Conservation Service, 1972, 1973），後續研究可嘗試採用土壤圖及多期土地利用圖，探討土地使用改變對保水能力之衝擊，評估全台坡地保水能力之變遷，進而劃定集水區管理分區，評估水源涵養能力變化重點區位，針對敏感區域提出坡地保水空間營造策略。另外，坡地森林資源受到人為及自然因素影響，發生崩塌或火燒等坡地初生災害，易使坡地林相失去原有功能，若植生復育不當易擴大產生二次災害。發展韌性坡地

管理機制提升災後復育工作亦為重要的研究議題，可嘗試透過遙測影像萃取植生指標，計算植生回復程度及時間，建置韌性坡地管理模式，以及研擬不同韌性坡地類型管理對策。

#### (四) 海岸土地、社會、生態系統之互動與反饋

臺灣地區四面環海，相對應之海岸土地面積大，海岸地區的資源特性之一為其高度的敏感性及脆弱性，一經破壞便難以復原。臺灣因多山少平原，大多數人口密集於海岸地區，沿海土地使用型態與可用資源的關係緊密，同時也影響相對應之產業及社會結構，而高密度的發展及產業集中也增加其面對氣候變遷的衝擊與威脅。因此，為了維繫海岸自然系統、自然海岸零淨損失、因應極端氣候、調適海岸災害與環境、保護與復育海岸資源，海岸地區的土地使用應重新檢視及整合管理，以維繫海岸地區的自然平衡。海岸地區的土地系統研究可藉由分析海岸地區土地使用的現況，檢視不同層面之脆弱度及恢復力（韌性），並藉此評估海岸地區土地使用政策，及未來各型態海岸地區土地因應環境變遷之調適策略。主要的研究議題共有三項，分別詳述如下：

##### 1. 氣候變遷對海岸土地使用之衝擊評估

全球約四分之一的人口居住在海岸線100公里內的區域，人口密度隨著都市化程度快速上升（Zanuttigh et al, 2014），全球氣候變遷帶來極端天氣型態，對海岸土地使用的潛在影響包括：（1）海平面上升造成海岸線變遷、生態棲地破壞、國土流失與土壤鹽化、低窪地排水不易；（2）颱風暴潮發生頻率增加引發淹水、海水倒灌等災害，並對港埠與海岸城市基礎設施造成損失；（3）極端降雨事件發生的機率增加，導致防洪、禦潮、排水與河川洩洪之困難度增高；（4）海岸地區不當利用與人工化，如超抽地下水導致地層下陷，或是海岸使用人工結構物等硬性保護方式，都可能加劇氣候變遷對海岸的衝擊（內政部，2013）。因此，評估氣候變遷對台灣海岸土地使用之衝擊是現階段相當重要的議題。

##### 2. 海岸地區脆弱度評估

國際氣候變遷委員會（the International Panel on Climate Change, IPCC）第一次氣候變遷評估報告（IPCC, 2001 & 2007）中指出脆弱度分析和風險評估是檢視風險和影響之重要工具，尤其是氣候變遷對城市和基礎設施產生重大影響的地區，包括海岸地區之城市與聚落。台灣海岸地區面臨同樣的議題，未來應嘗試發展其脆弱度的評估方法，例如Zanetti等人（2016）開發出沿海地區的社會環境脆弱性指標



(Socio-Environmental Vulnerability Index for Coastal Areas, SEVICA)，運用物理環境、社會經濟、地方產業、人們對當地基礎設施依賴度等指標評估沿海地區面對氣候變遷所遭受到的衝擊。

### 3. 發展土地變遷模式評估海岸空間衝突解決機制

由於過去所公告的沿海保護區計畫與許多大型開發位置重疊，相關單位卻沒有足夠的限制和管理權力，導致經濟發展與環境保護的衝突事件屢屢發生。因此，內政部依「海岸管理法」劃定並公告台灣的海岸地區，目前已公告各縣市之海岸範圍，研究並分析各縣市海岸地區之土地使用型態，透過脆弱度指標評估各縣市之海岸脆弱面向，藉此提出不同型態海岸之調適與韌性海岸發展對策。由於海岸地區與海域之互動關係緊密，並涉及多重之空間使用，目前台灣海岸管理法之近岸海域範圍為平均高潮線往海洋延伸至三十公尺等深線，或平均高潮線向海三裡涵蓋之海域（海岸管理法第一條），超過之海域範圍並不在檢視範圍內，因此未來之研究議題應重新檢視海域空間使用與海岸土地使用變遷之互動關係，並透過土地變遷模式發展空間衝突解決機制。

為降低氣候變遷對海岸地區土地使用所造成的衝擊，相關風險資訊、脆弱度及調適策略應被整合在主要部門策略中，針對不同類型之土地使用衝擊面也不同，除應建立對臨海低窪區與易淹水地區之脆弱度分析與衝擊評估，臨海都會區、工業區、離島、港灣、河海堤與臨海交通幹線受氣候變遷衝擊之影響大，也需進行具體的衝擊預測，以制訂因應方針。2016年2月1日通過「海岸管理法施行細則」，其中第十三條提出整體海岸管理計畫、海岸保護計畫或海岸防護計畫公告實施後，計畫擬訂機關應通知有關機關就區域內之開發計畫、事業建設計畫、都市計畫、國家公園計畫或區域計畫，配合整體海岸管理計畫、海岸保護計畫或海岸防護計畫，予以檢討、修正或變更。代表海岸地區的土地使用情況，應經過重新檢視後給予適當的調整建議，相對應的土地使用等計畫也應配合重新規劃，以降低海岸地區的風險程度。

## 四、土地系統之永續治理與政策效益評估

地球系統之回饋系統的整合性效應，涵蓋了生物地球化學圈的回饋、生物多樣性與自然干擾機制的回饋、以及對土地生態系統變化的反饋。整合人類與環境子系統的動態相互作用，用以評估土地系統的脆弱度、恢復力與適應性，用以理解決策

與政策之效益。因此，此主題主要聚焦於應用數據或模型綜合性分析土地系統的臨界變化，土地系統干擾、脆弱度和恢復力的交互關係，以及治理策略在土地系統永續發展下的作用機制（GLP, 2005）。

### 1. 發展跨領域之土地系統動態模擬模式

土地使用及覆蓋的變遷與人類的生活及生態環境息息相關，因此土地使用的議題也成為生態學、地球科學等研究領域中的重要研究及發展議題。越來越多的研究提出土地使用及覆蓋變化與全球系統變化之關聯性，土地表面模型運用在大尺度觀測大氣動態，其產生之模型的校正度和不確定性仍然需要在進一步應用土地使用及覆蓋模擬結果前作進一步的考慮（Michael et al., 2017）。土地使用模式或土地使用變遷之模擬及運用是為了能更有系統地瞭解土地系統發展與人為活動和自然生態資源之間的關係及生態系統結構與功能間之相互影響關係（Turner et al., 1993），藉由分析結果能更有效運用工具進行土地使用模式或土地使用變遷模式等分析，以期有系統地建構及預測未來土地系統之變化。

台灣的土地系統具有高度的複雜度，空間的複雜度包括海岸、平原、都市、山區之高度差異性；驅動因素的複雜度，涵蓋了跨區域的大氣、水文氣象、國際總體經濟因素，以及地區性的社會、經濟、自然、生態因素，和法令政策的複雜性。土地使用變遷模擬及分析方法有助於更系統性的了解土地利用的變化與驅動因子間的錯綜複雜關係、了解土地系統變化的速度及預測未來有可能發生之變化，也有助於建立土地使用變化之應變依據和因應環境變化之方法及對策（Turner et al., 1993）。因此，未來應強化跨領域的整合性研究，如何建構各領域之間的互動模式，串接成為整體性的土地系統動態模擬模式，是下一階段值得深入研究之議題，例如發展大氣-土地利用-經濟-生態服務之跨領域之土地系統動態模擬模式。

### 2. 韌性土地系統規劃與效益評估

UNFCCC為了降低氣候變異所產生之影響，提出減緩與調適兩種策略。減緩策略主要是降低溫室氣體之排放，而調適策略則是解決因氣候變遷所產生之影響所進行調適行動，用以確保社會、經濟、環境系統穩定，避免環境衝擊發生或減緩衝擊之影響，並利用各種機會創造出優勢。而空間規劃著眼於中長期的土地議題，並結合不同規劃層級來推動減緩、調適的行動方案（Rannow et al., 2010）。由於減緩策略須長時間才有效果，為解決氣候變異所帶來之災害，各國多以調適策略為主。韌性為調適策略的主要概念，韌性都市、韌性海岸都市、韌性農業、韌性坡地利用是土地資源面對氣候變異所必須整備的工作；而韌性治理、韌性經濟將是面對大環境

衝擊時，應有的調適機制。因此，制定韌性之土地使用管理策略是未來研究計畫重要議題之一，建構韌性土地系統評估模型亦是值得深究之主題。

## 五、結 論

土地系統是一門複雜的科學，土地利用或變遷與大氣、社會、經濟、治理策略密不可分，有鑑於此Future Earth與Global Land Programme中強調應以整合性觀點進行土地系統驅動力、回饋作用、遙聯繫之研究是現階段土地系統科學主要研究的取向。以此為基礎，觀察台灣的土地系統，可發覺氣候變異對坡地、都市、鄉村、海岸的土地利用造成明顯衝擊，例如急降雨造成坡地災害、都市淹水、農作物損失、海岸淤積與侵蝕等；另一方面，台灣以出口為導向的經濟發展方式，使得總體經濟與土地利用方式關係密切。台灣從農業為主的經濟結構轉型為工業生產的產業型態，土地成為農業與工商業生產經濟活動的主要投入，在經濟發展與轉型的過程中，台灣土地利用亦深受影響。隨著全球貿易蓬勃發展，台灣的工業產品行銷國際，工業用地需求亦隨之成長，以致農地、海岸土地轉為工業用途。而土地治理政策對於土地利用型態易產生明顯的變化，例如都市計畫造成農地都市化的情形相當嚴重，道路開闢引起兩側住宅的興建或交流道周邊的快速發展等；又農業政策導致農地大量興建建築、坡地種植果樹蔬菜等情形，當發生急降雨或颱風時，將引起更大的災害及造成土地規劃上的變動。因此，以韌性的角度切入，探究台灣坡地、都市、鄉村、海岸地區土地資源面對氣候變異所必須整備的工作，以韌性治理、韌性經濟觀點研討，面對大環境衝擊時台灣土地系統應有的調適機制。而土地利用變遷模式是韌性土地系統規劃上，用以系統性整合、分析與預測的有效方法，為永續土地規劃與管理提供一有效的分析工具，輔助土地相關單位研擬韌性的土地利用政策時應用，可協助土地政策之預期效益分析。

## 六、謝 誌

- i. 本議題為科技部自然科學及永續研究發展司核心計畫編號MOST-105-2621-M002-003-MY3之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。
- ii. 感謝科技部永續發展研究推動委員會成員：劉兆漢院士、蕭新煌教授、葉俊榮

教授、於幼華教授、余政達教授等人擬訂永續發展研究議題。

iii. 感謝林巧敏博士、研究助理: 洪甄蔚、曾思萍、張孟瑄等人協助校稿。

## 參考文獻

- 內政部，2013，國家氣候變遷調適行動方案（102-106）—海岸領域。
- 王親仁、賴玲慧，2011，影響臺灣農地利用因素之實證分析，臺灣銀行季刊，第 62 卷，第 2 期，頁 255-274。
- 林冠伶，2014，台灣地區土地利用與氣候變遷對長期區域氣象場變化之影響，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 林國彰，2003，台灣森林多樣性之經營，台灣林業，第 29 卷，第 3 期，頁 7-20。
- 柯佑霖、黃文政，2016，以 InVEST 模式評估水庫集水區農業非點源污染之防治效益，水土保持學報，第 48 卷，第 2 期，頁 1733-1748。
- 國家發展委員會，2016，中華民國人口推估（105 至 150 年），初版，臺北：國發會人力發展處。
- 許郁卿，2011，土地利用型態對地表能量收支與海陸風模擬的影響，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 戴俐卉、洪景山、莊秉潔、蔡徵霖、倪佩貞，2008，WRF 模式台灣地區土地利用類型之更新與個案研究，大氣科學，第 36 卷，第 1 期，頁 43-61。
- 顏仁德，2005，新世紀林業政策芻議—維護森林生態、保育自然資源，台灣林業，第 31 卷，第 1 期，頁 4-9。
- Alcamo J., Leemans R., and Kreileman E. (eds.), 1998, Global Change Scenarios of the 21st Century, Results From The IMAGE 2.1 Model, London: Elsevier.
- Cardille, J. A., and E. M. Bennett, 2010, Ecology: Tropical Teleconnections, Nature Geoscience, 3, pp. 154-155.
- Feddema, J. J., K. W. Oleson, G. B. Bonan, L. O. Mearns, L. E. Buja, G. A. Meehl, and W. M. Washington, 2005, The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future Climates, Science, 310(5754), pp. 1674-1678.
- Findell, K. L., and E. A. B. Eltahir, 2003a, Atmospheric Controls on Soil Moisture-Boundary Layer Interactions. Part I: Framework Development, Journal of Hydrometeorology, 4, pp. 552-569.

- Findell, K. L., and E. A. B. Eltahir, 2003b, Atmospheric Controls on Soil Moisture-Boundary Layer Interactions. Part II: Feedbacks within The Continental United States, *Journal of Hydrometeorology*, 4, pp. 570-583.
- Findell, K. L., E. Shevliakova, P. C. D. Milly, and R. J. Stouffer, 2007, Modeled Impact of Anthropogenic Land Cover Change on Climate, *Journal of Climate*, 20, pp. 3621-3634.
- GLP, 2005, Global land project. Science Plan and Implementation Strategy, IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19, Stockholm : IGBP Secretariat.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend, 2013, High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, *Science*, 342, pp. 850-853.
- Hof, C., M. B. Araújo, W. Jetz, and C. Rahbek, 2011, Additive Threats from Pathogens, Climate and Land-Use Change For Global Amphibian Diversity, *Nature*, 480, pp. 516-519.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001: Synthesis Report, A Contribution of Working Group I, II, III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Watson, R. T. and Core Writing Team, eds., Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R. K. Pachauri, A. Reisinger, eds., Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Juang, J. Y., A. Porporato, P. C. Stoy, M. S. Siqueira, A. C. Oishi, M. Detto, H.-S. Kim, and G. G. Katul, 2007, Hydrologic and Atmospheric Controls on Initiation of Convective Precipitation Events, *Water Resources Research*, 43(3), pp. 10.
- Kalnay, E., and M. Cai, 2003, Impact of Urbanization and Land-use Change on Climate, *Nature*, 423(6939), pp. 528-531.
- Kanamitsu, M., and Mo K., 2003, Dynamical Effect of Land Surface Processes on Summer precipitation over the Southwestern United States, *Journal of Climate*, 16, pp. 496-509.

- Koomen, E., J. Stillwell, A. Bakema, and H. J. Scholten (eds.), 2007, *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*, Netherlands: Springer.
- Kyle, P., A. Thomson, M. Wise, and X. Zhang, 2015, Assessment of The Importance of Spatial Scale In Long-Term Land Use Modeling of The Midwestern United States, *Environmental Modelling & Software*, 72, pp. 261-271.
- Lambin, E. F., X. Baulies, N. F., G. Bockstael, T. Krug, R. Leemans, Moran, E. F., R. R. Rindfuss, Y. Sato, D. Skole, B. L. Turner II, and C. Vogel, 1999, *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC)-Implementation Strategy. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme Global Environmental Change (=IGBP Report; 48/IHDP Report;10)*, Stockholm: IGBP Secretariat and Bonn: IHDP Secretariat.
- Lambin, E. F., and H. J. Geist (eds.), 2006, *Land-use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*, Berlin: Springer.
- Lapola, D. M., L. A. Martinelli, C. A. Peres, J. P. H. B. Ometto, M. E. Ferreira, C. A. Nobre, A. P. D. Aguiar, M. M. C. Bustamante, M. F. Cardoso, M. H. Costa, C. A. Joly, C. C. Leite, P. Moutinho, G. Sampaio, B. B. N. Strassburg, and I. C. G. Vieira, 2013, Pervasive Transition of The Brazilian Land-Use System, *Nature Climate Change*, 4, pp.27-35.
- Lin, C.-Y., F. Chen, J. C. Huang, W.-C. Chen, Y.-A. Liou, W.-N. Chen, and S.-C. Liua, 2008, Urban Heat Island Effect and Its Impact on Boundary Layer Development and Land-Sea Circulation over Northern Taiwan, *Atmospheric Environment*, 42(22), pp. 5635-5649.
- Lin, C.-Y., W.-C. Chen, S. C. Liu, Y. A. Liou, G. R. Liu, and T. H. Lin, 2008, Numerical Study of The Impact of Urbanization on the Precipitation over Taiwan, *Atmospheric Environment*, 42, pp. 2934-2947.
- Lin, C. Y., C.-J. Su, H. Kusaka, Y. Akimoto, Y.-F. Sheng, J.-C. Huang and H.-H. Hsu, 2016, Impact of An Improved WRF Urban Canopy Model on Diurnal Air Temperature Simulation over Northern Taiwan, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(3), pp. 1809-1822.
- Liu, J. Q., V. Hull, M. Batistella, R. DeFries, T. Dietz, F. Fu, T. W. Hertel, R.C. Izaurralde, E. F. Lambin, S. Li, L. A. Martinelli, W. McConnell, E. F. Moran, R. Naylor, Z. Ouyang, K. R. Polenske, A. Reenberg, G. de Miranda Rocha, C. S. Simmons, P. H.

- Verburg, P. M., Vitousek, F. Zhang, and C. Zhu, 2013, Framing Sustainability in A Telecoupled World, *Ecology and Society*, pp. 18-26.
- Janssen, M. A., O. Bodin, J. M. Anderies, T. Elmqvist, H. Ernstson, R. R. J. McAllister, P. Olsson and P. Ryan, 2006. Toward a network perspective on the resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1): 15.
- Lo, M.-H., and J. S. Famiglietti, 2013, Irrigation in California's Central Valley Strengthens the Southwestern U.S. Water Cycle, *Geophysical Research Letters*, 40, doi:10.1002/grl.50108.
- Meyfroidt, P., E. F. Lambin, K. H. Erb, and T. W. Hertel, 2013, Globalization of Land Use: Distant Drivers of Land Change and Geographic Displacement of Land Use, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, pp. 438-444.
- Michael E. M., S. Rahmstorf, K. Kornhuber, B. A. Steinman, S. K. Miller and D. Coumou, 2017, Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events, *Scientific Reports*, 7, 45242.
- NRC, 2007, Earth Science and Applications from Space: National Imperatives for the Next Decade and Beyond, National Research Council, 456.
- Ozturk, D., 2015, Urban Growth Simulation of Atakum (Samsun, Turkey) Using Cellular Automata-Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain Models, *Remote Sensing*, 7, pp. 5918-5950.
- Pauleit, S., R. Ennos, and Y. Golding, 2005, Modeling the Environmental Impacts of Urban Land Use and Land Cover Change—A Study in Merseyside, UK, *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4), pp. 295-310.
- Pielke, R. A., 2001, Influence of The Spatial Distribution of Vegetation and Soils on the Prediction of Cumulus Convective Rainfall, *Reviews of Geophysics*, 39, pp. 151-177.
- Rannow, S., W. Loibl, S. Greiving, D. Gruehn, and B. C. Meyer, 2010, Potential Impact of Climate Change in Germany—Identifying Regional Priorities for Adaptation Activities in Spatial Planning, *Landscape and Urban Planning*, 98(3-4), pp. 160-171.
- Rutledge, D. T., M. Cameron, S. Elliott, T. Fenton, B. Huser, G. McBride, G. McDonald, M. O'Connor, D. Phyn, J. Poot, R. Price, F. Scrimgeour, B. Small, A. Tait, H. Van Delden, M.E. Wedderburn, and Woods R. A., 2008, *Choosing Regional Futures:*

Challenges and Choices in Building Integrated Models to Support Long-Term Regional Planning in New Zealand, *Regional Science Policy & Practice*, 1(1), pp. 85-108.

Soil Conservation Service, 1972, *National Engineering Handbook*. section 4, Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, available from U. S. Government Printing Office, Washington, D.C..

Soil Conservation Service, 1973, A method for estimating volume and rate of runoff in small watershed. Technical Paper No.149, USDA-SCS, Washington, D.C..

Strengers B., R. Leemans, B. Eickhout, B. De Vries, and A. F. Bouwman, 2004, The Land-Use Projections and Resulting Emissions in the IPCC SRES Scenarios as Simulated by the IMAGE 2.2 Model, *Geosciences Journal*, 61, pp. 381-393.

Tayyebi, A. H., A. Tayyebi, and N. Khanna, 2014, Assessing Uncertainty Dimensions in Land Use Change Models Using Swap and Multiplicative Error Models by Injecting Attribute and Positional Errors in Spatial Data, *International Journal of Remote Sensing*, 35(1), pp. 149-170.

Turner, B. L., D. Skole, S. Sanderson, G. Fischer, L. Fresco, and R. Leemans, 1995, *Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan*. Stockholm, Sweden: IGBP report no. 35 and HDP report no. 7.

Turner, B. L., and R. H. Moss Skole, 1993, *Relating Land Use and Global Land-cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project*, Stockholm, Sweden: HDP Report Number 5, International Geosphere-Biosphere Programme.

Turner, B. L. II, A. C. Janetos, P. H. Verburg, and A. T. Murray, 2013, *Land System Architecture: Using Land Systems to Adapt and Mitigate Global Environmental Change*, *Global Environmental Change*, 23, pp. 395-397.

Turner, B. L., E. F. Lambin, and A. Reenberg, 2007, *The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, pp. 20666-20671.

Van Delden, H., T. Stuczynski, P. Ciaian, M. L. Paracchini, J. Hurkens, A. Lopatka, Y. Shia, O. G. Prieto, S. Calvo, J. van Vliet, and R. Vanhout, 2010, *Integrated Assessment of Agricultural Policies with Dynamic Land Use Change Modeling, Ecological Modelling*, 221(18), pp. 2153-2166.



- Van Delden, H., and G. McDonald, 2010, Towards the Integration of Economic and Land Use Change Models, *International Congress on Environmental Modelling and Software*, pp. 244.
- Van Delden, H., P. Lujala, and G. Engelen, 2007, Integration of Multi-scale Dynamic Spatial Models of Socio-economic and Physical Processes for River Basin Management. *Environmental Modelling and Software*, 22(2), pp. 223-238.
- Verburg, P. H., 2006, Simulating Feedbacks in Land Use and Land Cover Change Models, *Landscape Ecology*, 21, pp. 1171-1183.
- Verburg, P. H., B. Eickhou, and H. van Meijl, 2008, A Multi-Scale, Multi-Model Approach for Analyzing the Future Dynamics of European Land Use, *The Annals of Regional Science*, 42(1), pp. 57-77.
- Verburg, P. H., A. Tabeau, and E. Hatna, E., 2013, Assessing Spatial Uncertainties of Land Allocation Using A Scenario Approach and Sensitivity Analysis: A Study for Land Use in Europe, *Journal of environmental management*, 127, pp. S132-S144.
- Wai, K. M., X. M. Wang, T. H. Lin, M. S. Wong, S. K. Zeng, N. He, E. Ng, K. Lau, and D. H. Wang, 2017, Observational Evidence of A Long-Term Increase in Precipitation Due to Urbanization Effects and Its Implications for Sustainable Urban Living, *Science of The Total Environment*, 599, pp. 647-654.
- Wey, H.-W., M.-H. Lo, S.-Y. Lee, J.-Y. Yu, and H.-H. Hsu, 2015, Potential impacts of wintertime soil-moisture anomalies from agricultural irrigation at low latitudes on regional and global climates, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1002/2015GL065883
- Whitford, V., A. R. Ennos, and J. F. Handley, 2001, City Form and Natural Process — Indicators for the Ecological Performance of Urban Areas and Their Application to Merseyside, UK, *Landscape and Urban Planning*, 57(2), pp. 91-103.
- Wu, W., and R. E. Dickinson, 2005, Warm-Season Rainfall Variability over the U.S. Great Plains and Its Correlation with Evapotranspiration in A Climate Simulation, *Geophysical Research Letters*, 32(17), pp. 17402.
- Yeh, T. C., R. T. Wetherald, and S. Manabe, 1984, Effect of Soil Moisture on the Short Term Climate and Hydrology Change: A Numerical Experiment, *Monthly Weather Review*, 112, pp. 474-490.

Zanetti, V. B., W. C. de Sousa Junior and D. M. de Freitas, 2016, A Climate Change Vulnerability Index and Case Study in a Brazilian Coastal City, Sustainability, 8, 811.

Zanuttigh, B., 2014, Editorial. Coastal Engineering, 87, pp. 1-3.

Zhu, K., M. Xie, T. Wang, J. Cai, S. Ki, and W. Feng, 2007, "A Modeling Study On The Effect Of Urban Land Surface Forcing To Regional Meteorology And Air Quality Over South China," Atmospheric Environment, 152, pp. 389-404.