

## 鄉鎮市區層級災害耐韌力指標關聯性與權重之DANP分析以及空間聚集性分析之應用\*

林文苑\*\*

論文收件日期：106年05月01日  
論文修訂日期：107年03月19日  
論文接受日期：107年03月23日

### 摘 要

國內外的相關研究對於面對災害的態度已由抗災的觀點，轉為耐韌力的思維與災害共處的調適作為，而各領域對於耐韌力的議題也漸臻成熟且被廣泛地討論。本研究透過文獻回顧先行釐清關於耐韌力的定義與概念，並廣泛蒐集相關研究中所提出的各類指標作為基礎，以建立適用於本研究分析之災害耐韌力指標系統；之後進行專家問卷以及採用決策實驗室分析基礎之網路層級分析法，以DEMATEL法分析指標的因果關係結構，藉由檢視指標間影響程度，以及利用矩陣運算取得指標間的相互影響關係（interfering relationship）及影響強度，同時產生DEMATEL影響矩陣，再透過納入此一影響矩陣的ANP分析求得指標間的關聯與影響權重（influential weights）。使用DEMATEL影響矩陣的ANP分析之主要優點是可以避免一般計算常態化超矩陣（super matrix）時，必須建立在每一個群組之權重都是相等的假設，而忽略群組間不同效應的問題。針對耐韌力的評估，本研究提出四個評估項目：「社會背景」、「經濟基礎」、「環境條件」、「應變能量」，每個項目之下各列出三個評估指標，共計十二個指標，透過DEMATEL分析中心度與原因度，瞭解各指標與項目間的影響力與關聯性；之後利用DEMATEL矩陣的轉化進行DANP分析，找出各指標的權重，並將之應用於各鄉鎮市區的耐韌力評估。評估的結果發現，耐韌力較高的地區多位於台灣西部的都會區，而耐韌力較低者多位於山區與偏遠地區；本研究並以空間自相關技術應用於災害耐韌力的空間分析，以確認其空間聚集情形。

關鍵詞：災害耐韌力指標、決策實驗室分析基礎之網路層級分析法（DANP）、空間自相關技術、空間聚集分析

\* 本文承蒙兩位匿名審查委員惠賜寶貴意見，及科技部專題研究計畫（MOST 104-2410-H-130-064）補助部分研究經費，特此致謝。

\*\* 副教授，銘傳大學都市規劃與防災學系，TEL：(03)3507001#3399，E-mail：wylin01@mail.mcu.edu.tw。

# Relationship and Weights of Township Level Disaster Resilience Indicators and the Application of Spatial Clustering Analysis\*

Wen-Yen Lin\*\*

## ABSTRACT

The recent research of disaster management indicates that the attitude of facing disasters is changing from “resistance” point of view to “resilience” and “adapting” behaviors of living among the possible risks. The issues of “resilience” are also getting matured and being discussed broadly among various disciplines. The definitions and concepts of resilience were clarified first by literature reviews, along with the collections of indicators from relating researches, in order to establish a disaster resilience indicator system that is feasible for this study. By collecting experts’ opinions through questionnaires and adopting the analysis procedures of DANP (DEMATEL-based ANP) method, DEMATEL was used to investigate the interfering relationship among indicators, to find the central indicators to represent the effectiveness of factors, and to obtain the influence matrix. The ANP analysis was introduced the DEMATEL influence matrix to identify the connections of indicators and calculate the influential weights. The advantage of introducing the DEMATEL influence matrix is to avoid the equal-weight assumptions of clusters when normalizing the super matrix in ANP, thus it can take the effectiveness of clusters into account during the calculation. This study used 4 assessment items - “social background”, “economic basis”, “environmental conditions”, and “response capacity” - and 12 indicators to evaluate the resilience of local townships. By using DEMATEL method, the “Prominence” and “Relation” of items and indicators were identified for the relationship and effectiveness among them. The DEMATEL matrix was transformed for DANP analysis to find the indicator weights. By applying the results from DANP analysis, this study was able to examine the spatial distribution of townships’ disaster resilience in Taiwan, and to verify the spatial clustering of disaster resilience through the application of spatial autocorrelation techniques.

**Key words:** DANP (DEMATEL-based ANP), Disaster Resilience Indicators, Spatial Autocorrelation Techniques, Spatial Clustering Analysis

---

\*\* Associate Professor, Department of Urban Planning and Disaster Management, Ming Chuan University, TEL: +886-3-3507001 #3399, E-mail: wylin01@mail.mcu.edu.tw.

## 一、前言

台灣地處環太平洋地震帶，各類大小規模的地震事件發生頻繁，屬於地震的高風險地區；而在地理位置上又位於西太平洋颱風易經的路徑，加上近年來全球氣候變遷所造成的強降雨現象，使台灣飽受天然災害的威脅。由行政院主計處2015年彙整的天然災害損失之統計資料中顯示，於2005-2014十年間對台灣造成損害的颱風、水災、地震等天然災害發生次數共計100次，其所動員的救災人次高達169萬5919人，搶救災民人數共計10萬6572人。而在2016年2月6日凌晨3時57分，於高雄市美濃區發生芮氏規模6.4地震，深度16.7公里的淺層地震，依內政部消防署的災害處置報告中之統計，此一地震共造成116人死亡，550人受傷，其中罹難的114人是位於倒塌的台南市維冠金龍大樓，這次發生在農曆新年前後使全國矚目的地震災害，其所投入的救災人力高達32381人次（內政部消防署，2016）。由此可知，無論是天然或人為方面的災害，其所需投入的災害防救能量對台灣的抗災與耐災能力形成了嚴峻的考驗；對處於高度災害風險中的台灣而言，認識自身所俱備的災害耐韌力（resilience）能量實為一件必要且刻不容緩的工作，面對隨時存在的災害威脅，台灣應對自身的災害耐韌力加以正視，為下一次的災害作最佳的準備。

在美國聯邦緊急事務管理署（Federal Emergency Management Agency, FEMA）於2012年所發佈的“Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic Action in an Age of Uncertainty”報告中，認為“耐韌力”於災害管理上是描述人民、組織與系統對於變化中的狀況以及承受與由緊急事故所造成的擾動中快速復原的調適能力（FEMA, 2012），另外在FEMA（2014）的“2014-2018 FEMA Strategic Plan”中也提及將持續建立一套可以辨識實質環境、經濟、環境與社會層面中的全國性災害耐韌力指標（disaster resilience indicators）；Buckle（2006）指出耐韌力與脆弱度（vulnerability）是瞭解災害的中心概念，國內對於災害脆弱度的研究已漸臻成熟，但關於災害耐韌力與其評估的指標則相對較為少見，事實上由FEMA所主導的美國全國性災害耐韌力指標也還在廣泛地徵求各界的意見，尚未完成指標系統的建構。

本研究透過文獻回顧定義災害耐韌力，蒐集並參考國內外相關的研究以擬訂適合國內分析使用之災害耐韌力指標；藉由專家問卷的結果以決策實驗室分析基礎之網路層級分析法（DEMATEL-based ANP，以下簡稱為DANP法）分析指標相互影響關係與影響成份或被影響成份，確認各災害耐韌力之關聯性，再運用所產生的影響矩陣計算出各指標之影響權重；之後將權重應用於鄉鎮市區的指標變項分析，以

及透過空間分析技術檢視各鄉鎮市區的災害韌力空間聚集的情形。本研究之目的如下：

1. 探討災害韌力的定義以及建立韌力的指標架構
2. 透過專家問卷與DANP法分析災害韌力指標的相互影響關係與影響權重
3. 藉由災害韌力指標變項與權重評估台灣各鄉鎮市區的韌力空間分佈
4. 經由空間自相關分析探討災害韌力之空間聚集情形

## 二、文獻回顧

### (一) “resilience” 的定義與相關文獻探討

在National Research Council (2012) 的報告中提到，於一般的看法中resilience一詞是描述個人、城市、或國家於災難之下所展現的力量，或是由一些未預期悲劇中回復的情形；於這些事件發生後，個人、城市、或國家可以變得更堅強，而其處理方式與機構設置會更加具有彈性，人民與社區也俱備更多能力以承受未來的逆境；因此報告中對resilience的定義是「準備、計畫、吸收、復原或成功地適應實際與潛在不利事件的能力」。Holling (1973) 與Pimm (1984) 皆由生態系統的觀點定義resilience是一種系統經過擾亂的過程回復為平衡的能力；Timmerman (1981) 將resilience與社會經濟作一鍊結，認為resilience是從外在擾動造成社會、經濟等變化後回復的能力；Comfort (1999) 由震災風險的觀點，視resilience為一種運用現有資源與技術，藉以適應災後新環境的能力；Pelling (2003) 則認為resilience是一種對於災害適應與應對的能力；Bures and Kanapaux (2011) 由社會與生態的角度加以解讀，認為resilience的理論提供了一種架構，藉以瞭解都市系統中社會與人口變化受到生態系統與社會結構功能的影響。

部份學者則是由社區 (community) 的觀點加以探討，如Mileti (1999) 認為resilience是社區所能承受災害的強度，亦即於災害影響之下不致造成毀滅性的破壞與損失，其自身的經濟與生活品質也可獨立承受而不會下降；Norris et al. (2008) 則將community resilience視為一種連結調適能力 (具備多元屬性的資源) 網絡以適應干擾與災難的過程，這個網絡是由高度關懷社區議題、尊重與服務他人以及相互連結的知覺等社區意識的特色所形成之屬性；Peacock (2009) 將社區的災害韌力加以概念化成為一種社區資本的組合資源 (社會、經濟、實質環境與人類)，此一探討也衍伸到這些資本的組合資源如何影響災害管理的四階段：減災 (感知與調

整）、整備（計畫與警戒）、應變（災害衝擊前後）、以及復原（恢復與重建）；Sonn and Fisher（1998）由社區意識的觀點對resilience加以解讀，發現resilience可視為人們以正向方式反應逆境與生活中壓力，亦即resilience代表成功地適應壓力事件、壓迫性系統（oppressive systems）以及生活上其他的挑戰。

綜整上述研究對於resilience的定義，一般對於此一名詞的認知是一種於承受壓力或災害時所具有的調適、適應或回復的能力，在目前國內許多防災與其他領域研究就其學術與研究特性等背景，將resilience翻譯為「韌力」（朱蓓蕾，2012）、「彈性」（陳志嘉，2007）、「復原力」（蔡素妙，2004；張麗珠，2009；陳亭君等，2013）、「復原能力」（王俊元，2012）、「因應韌性」（李香潔等，2013）、「社會韌性」（李宗義與林宗弘，2013）、「復原韌性」（黃松林等，2012）與「復原適應能力」（李欣輯等，2010）等，而也有許多國內學者於發表關於災害的研究時將其稱之為「回復力」或「耐韌力」（沈慶盈，2008；白仁德，2010；洪啟東與彭淑媛，2011；吳杰穎與黃昱翔，2011；賴炳樹，2012；賴炳樹與白仁德，2012；洪啟東與傅玫盛，2013；曾敏惠與吳杰穎，2014；洪啟東與曹名傑，2015）。本研究從災害相關的觀點，原傾向於使用「回復力」一詞，但考量其與災害管理四階段（減災、整備、應變、復原）中的復原階段容易產生混淆，使resilience看起來僅止於災後復原的階段，而在前述的文獻回顧中可發現resilience並非僅於災害後復原重建時期的展現，而是平時就已存在於個人或團體的一種承受與反應外在威脅、壓力與災變等的能力或能量，因此本研究將之稱為「耐韌力」。

## （二）耐韌力相關模式與指標之研究回顧

Norris et al.（2008）認為耐韌力是於系統中擾動（disturbance）之後，聯結正向功能軌跡之適應能力網絡的調適過程。其將危機發生時所產生壓力的抵抗（resistance）、脆弱度與耐韌力之時間軸以圖1的內容加以描述。

在圖1中之耐韌力的培養與強化應是有賴於平時在各層面的投入，於系統擾動或災時可以發揮調適（adaptive）的功能於災後適應改變的環境，Norris et al.的研究中也將圖1之概念，以一個調適能力（capacities）的網絡關係將社區耐韌力加以展現如圖2所示。由圖2中可知社區耐韌力於平時的培植，是由四個調適能力的主要類型所形成：經濟發展（economic development）、社會資本（social capital）、資訊溝通（information and communication）、以及社區能力（community competence），這四類調適能力於耐韌力形成過程中提供了災害準備的策略性發展，本研究將參考模式中的調適能力項目選擇適合的耐韌力指標。

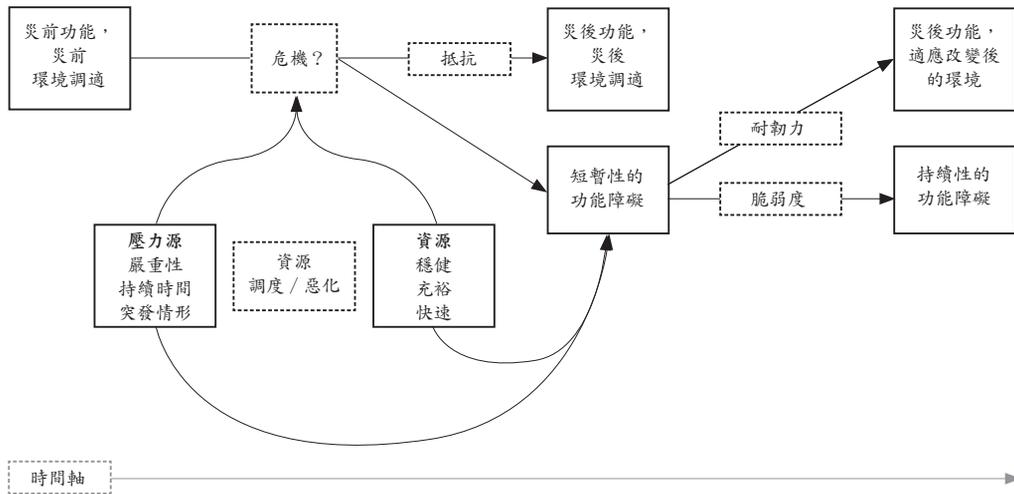


圖1 壓力抵抗、脆弱度與耐韌力時間歷程的模式

資料來源：Norris et al., 2008

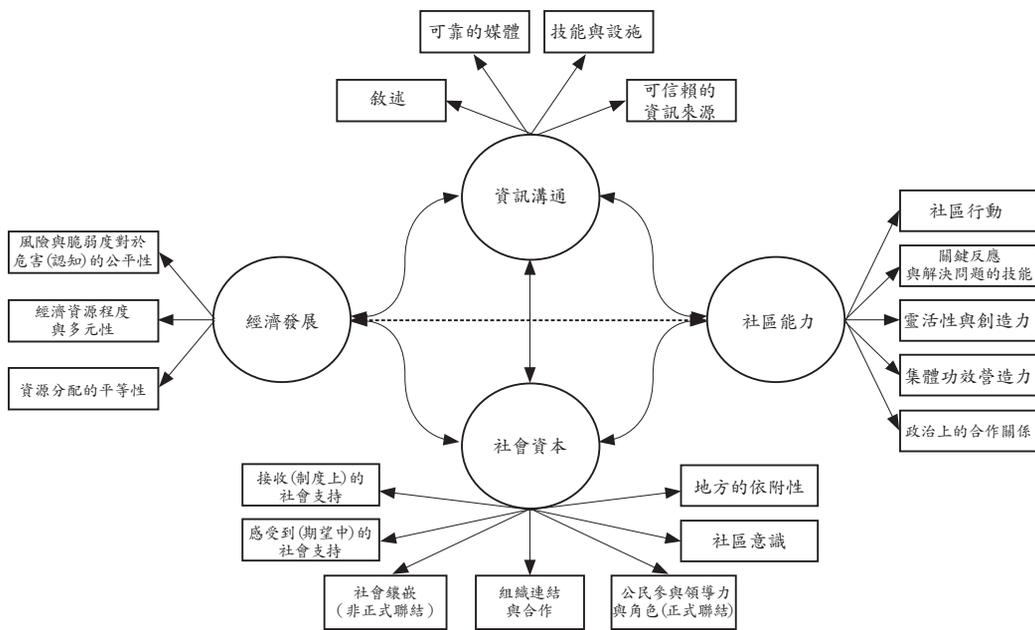


圖2 以調適能力的網絡關係所呈現之社區耐韌力模式

資料來源：Norris et al., 2008

Resilience Alliance (2007) 於2005年的會議中，提出了都市韌力的四項研究主題：

- 都市代謝流動—永續的都市功能、人類福祉與生活品質
- 治理網絡—面對都市挑戰之學習、調適與組織重組的社會能力
- 社會動力—公民、社區成員、服務使用者以及產品消費者的角色
- 建成環境—都市態樣的實質型態

而都市韌力的形成來自於如圖3的四個研究主題的空間關係與互聯情形。

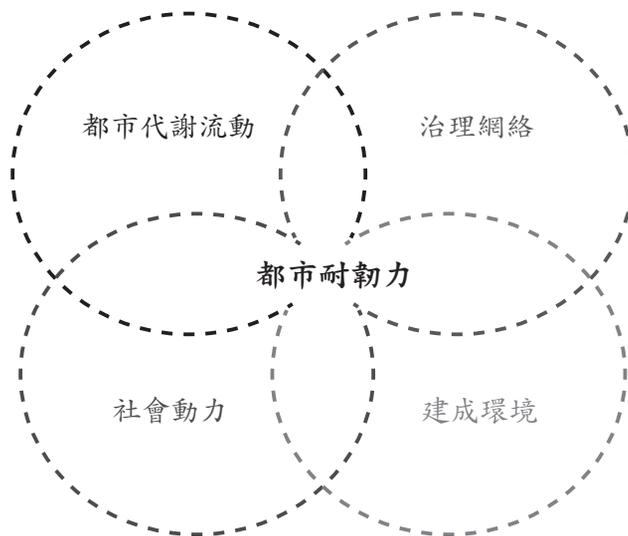


圖3 都市韌力的四個研究主題

資料來源：Resilience Alliance, 2007

參考Resilience Alliance (2007) 所提出的都市韌力研究主題，以及Bruneau et al. (2003) 的社區地震韌力評估架構，Joerin et al. (2014) 將之延伸為實質環境、社會、經濟、機構與自然環境五個面向 (dimensions)，並據以建立了如表1中 25個參數 (parameters) 的氣候災害韌力指數 (Climate Disaster Resilience Index, 以下稱為“CDRI”)，並以印度的清奈 (Chennai, India) 的十個分區為研究對象，驗證CDRI對韌力的評估應用。

表1 氣候災害耐韌力指數 (CDRI) 的面向與參數

面向	參 數	面向	參 數
實質環境	電力	機構	災害風險降低與氣候變遷調適的相關作為
	水		各分區危機處理架構的效能
	衛生與垃圾廢棄物		知識傳佈與管理
	道路可及性		災害時機構與其他組織與利害關係者的合作
	住宅與土地使用		優良的治理
社會	人口	自然環境	自然危害的強度
	健康		自然危害的頻率
	教育與災害認知		生態系統相關服務
	社會資本		自然層面的土地使用
	災害社區整備		環境政策
經濟	收入		
	就業		
	家戶資產		
	財務與儲蓄		
	預算與補助		

資料來源：Joerin et al., 2014

Cutter et al. (2010) 則提出了一組“基礎耐韌力指標” (Baseline Resilience Indicators for Communities, 以下稱為“BRIC”), 並應用於美國阿拉巴馬、佛羅里達、喬治亞、肯塔基、密西西比、北卡羅萊納、南卡羅萊納與田納西各州的736個郡所組成區域之研究, 研究中透過因素分析 (factor analysis) 的主成分分析法 (principal component analysis) 將原始的50個耐韌力指標變項篩選為5個因素構面的36個指標變項, 這5個耐韌力因素構面是: 社會、經濟、團體、基礎建設與社區能量, 表2將BRIC的因素構面與其下的指標變項加以列述。

Chan et al. (2014) 以淡水河流域地區為研究範圍, 透過專家問卷以及模糊德爾菲法 (Fuzzy Delphi) 與網路層級分析法 (Analytic Network Process, 以下簡稱為ANP法) 確立了如表3的災害耐韌力指標, 藉以評估地區的災害耐韌力。另外, 曾敏惠與吳杰穎 (2014) 於風險溝通與災害回復力關聯性的研究中, 將回復力 (耐韌力) 分為“掌握社區災害風險”、“社會學習”、“夥伴關係”與“溝通與協調”四類因

表2 基礎耐韌力指標 (BRIC) 的因素構面與指標變項

構面	類別	變項	對耐韌力的影響	構面	類別	變項	對耐韌力的影響
社會耐韌力	教育公平	大學學歷與高中學歷的比例	負向	基礎建設耐韌力	住屋型態	非拖車屋的住屋比例	正向
	年齡	非老人人口比例	正向		收容能量	出租空房比例	正向
	交通能力	擁有車輛的人口比例	正向		醫療能量	每一萬人的病床數	正向
	通訊能力	擁有電話的人口比例	正向		可及性/疏散潛力	每平方英哩的主要幹道英哩長度	正向
	語文能力	以英文為主要語言的人口比例	正向		屋齡	非建於1970年前與1994年後的住房比例	正向
	特殊需求	非身心障礙人口比例	正向		收容需求	每平方英哩的旅館數	正向
	健保涵蓋率	具有健康保險的人口比例	正向		復原	每平方英哩的公立學校數	正向
經濟耐韌力	房產資本	擁有房屋的比例	正向	社區能量	地方依附性	淨國際移民數	負向
	就業	就業人口比例	正向			出生於某州而仍居住於該州的人口比例	正向
	所得公平性	Gini 係數	正向		政治接觸	參與2004選舉的投票人口比例	正向
	單一部門就業依賴性	非農林漁牧與採礦從業人口比例	正向		社會資本一宗教	每一萬人的宗教信徒人數	正向
	就業	女性勞力參與比例	正向		社會資本一公民參與	每一萬人的公民參與組織數	正向
	商業規模	大型企業與小型商業的比例	正向		社會資本一宣導	每一萬人的社會宣導組織數	正向
	就醫便利性	每一萬人的醫師人數	正向		創新	從事創意行業的人口比例	正向
團體耐韌力	減災	近期危害所涵蓋的人口比例	正向				
		參與水災社區評比系統的人口比例	正向				
		Storm Ready社區的人口比例	正向				
	淹水範圍	國家水災保險涵蓋的房屋數量比例	正向				
	市政服務	消防、警察、緊急醫療的市政支出比例	正向				
	政治分裂	政府與特別行政區的數量	負向				
	災害體驗	撥支費用的災害宣告次數	正向				
減災與社會連結	FEMA Citizen corps 計畫涵蓋的人口比例	正向					

資料來源：Cutter et al., 2010

子。由於災害耐韌力透過指標的方式加以評估的研究與共識，尚不及災害脆弱度那樣地普及，而本研究擬透過DANP法分析釐清各災害耐韌力因子的相對重要性與彼此影響的關聯程度，需要以指標的形式進行耐韌力評估，因此藉由參考與檢視前述相關研究的指標項目，配合可適切評估鄉鎮市區層級災害耐韌力的內容提出一組耐韌力評估指標，以利研究的進行。

表3 淡水河流域地區災害耐韌力指標

面向	指標	描 述
科學與技術	救援能力	救濟與救援能力
	氣象預報準確性	預測與整備能力
建成環境	公共設施	生活支援系統與細部設施能力
	土地使用的空間架構	河川流域中都市與區域地區的空間架構
組織與制度	災害防救計畫	發展硬體與軟體計畫避免災害衝擊
	河川流域管理機構	面對災害的管理能力與機構
	資源調節能力	水資源分配與調節能力
社會經濟	脆弱人口	老人、低收入、臥病在床的人口
	個人能力	緊急應變與復原的社經能力
	政府的財務能力	地方政府應對颱風與水災的財務能力
自然環境	環境敏感地面積	坡災、水災與其他危害的高潛勢地區
	水源保育	水源保育計畫區
	坡地保育	坡地保育計畫區

資料來源：Chan et al., 2014

### (三) DANP 之內容與相關應用

DANP法是結合DEMATEL與ANP兩種技術的研究分析方法，此一結合首見於Ou Yang et al. (2008) 討論混合式多準則決策支援 (hybrid Multiple Criteria Decision Making, hybrid MCDM) 的研究。決策實驗室分析法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, 以下簡稱為DEMATEL法) 源於1973年日內瓦研究中心 Battelle協會，其將DEMATEL用於研究複雜困難的問題，如種族、饑餓、環保、能源問題等。DEMATEL可有效地瞭解複雜的因果關係結構，藉由檢視元素間影響程度，利用矩陣運算取得元素間的相互影響關係及影響強度。Hiete et al. (2012) 以梯形模糊DEMATEL法 (Trapezoidal fuzzy DEMATEL) 評估德國439個郡的災害耐韌力，並分析各指標間的因果關係及影響強度。

Thomas L. Saaty於1971年提出AHP分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP），此後廣受各界學者重視，並進行各方面研究，發現其在決策問題上有廣泛之貢獻。Saaty於1996年延伸AHP，提出ANP分析法，最大的不同為AHP視各準則為獨立，ANP則考慮準則或替代方案間存在內部相依（Interdependence）及回饋（Feedback），亦即AHP為ANP的一種特例（Satty, 2008）。ANP常應用在無法以階層結構表示的多準則決策問題，如專案選擇，策略性決策，產品規劃等，常見的ANP應用是透過評估尺度獲取準則、目標與方案間精確關係，以及相互影響作用後各群組（cluster）與元素（element）的權重（李杰穎，2013）。

ANP常應用於解決準則或替代方案間的內部相依及回饋問題，一般的ANP於計算常態化超矩陣（super matrix）時是假設每一個群組的權重都是相等的，因此往往會忽略群組間不同的效應。使用DANP法的優點之一是可以透過DEMATEL的影響矩陣來解決此一問題，亦即DANP是利用ANP的基本觀念以及配合DEMATEL之影響矩陣計算出各準則影響權重之大小，避免原始的ANP法必須假設各群組權重均相等的作法（Ou Yang et al., 2008）。

由於DANP方面的研究算是較為近期之發展，因此多數應用的案例還是偏向原先開發DANP的商業管理領域；如周國村與袁建中（2014）於評選關鍵計畫時，使用DEMATEL法先找出影響計畫三個構面市場、技術與效益之間的相依性，接著再以ANP法找出評估準則之間的權重，作為計畫評選計分重要的考慮因素；李堯賢與鄭國樑（2013）由DANP計算不同構面或準則間的相對權重，其分析發現在選擇生態旅遊景點上是以生態觀點之評估準則較為重要，尤其是法令規章限制性的方面；劉建浩等（2012）藉由DANP於非獨立性的多準則評估模式的應用與考慮準則間的相依性，發現航空公司選擇維修外包商時，“顧客需求”為影響力最大的因素，“準時”為選擇供應商的基本要求，以及“價格”為選擇供應商的關鍵因素；徐承毅與黃筱茹（2011）的研究結果發現，女性在進行微型創業之關鍵成功因素為實體資本的“技術”、“廠房設備”、財務資本的“期初資本”、“創業貸款”以及社會資本的“人際網絡”；謝浩明與李冠穎（2011）將DANP應用於桃園縣生活通勤型自行車道系統評估改善之研究，發現“安全性”、“連續性”、“引導性”及“舒適性”是評估生活通勤型自行車道系統時較重要之考量因素；管孟忠等（2010）分析探討國內公部門之策略性專案的關鍵因素關聯性，並應用DANP法取得各個準則間的關聯程度，以及提供該策略性專案的關鍵因素的連動性；陳以明等（2010）則以結合DANP之MCDM模型，探討新產品開發過程品質關連性，先利用DEMATEL法探討“顧客需求與滿意”、“產品規格需求”與“製程規格要求”三大構面及其相關15項準則之關聯性，之

後結合ANP方法計算相關過程品質要素的權重。本研究將參考前述與其他相關研究的內容，應用DANP分析災害耐韌力指標間的因果關係及影響強度，藉由納入DEMATEL影響矩陣的ANP法計算出各準則影響權重之大小。

#### (四) 空間自相關分析之研究應用

本研究藉由DANP分析確認災害耐韌力指標之相互影響關係與權重後，將透過空間自相關分析探討鄉鎮市區間的災害耐韌力空間聚集情形。空間自相關是空間統計方法的一種，空間統計方法在統計學上屬於較近期的發展，但已廣為各學術領域所採用，其與傳統的統計方法之最大不同處，乃是在於此一統計方法主要是針對各類資料之空間屬性，作空間分佈的分析（Anselin, 1989）。此一空間統計方法的特性，可以彌補傳統統計方法中，無法充分反映出資料之空間分佈屬性的問題。目前最常被採用與提及的空間統計方法包括Moran's I（Cliff and Ord, 1973），以及之後所發展的G統計量、 $G_i / G_i^*$ 統計量（Getis and Ord, 1992, 1995）與Local Moran（Anselin, 1995）等空間自相關分析，亦即Moran與G兩種類型的統計量。Chang（2016）認為Moran's I與Local Moran主要是偵測空間單元的相似性（spatial similarity）與是否存在空間聚集（spatial clustering或spatial association），而Global G與Local  $G_i^*$ 則是檢視空間聚集是否由多數聚集（hi-number association）或是少數聚集（low-number association）所組成。但在實際操作的應用上，G statistics於其定義中有原始資料必須大於0的限制，Moran statistics則沒有此一問題。

一般而言，以上的空間統計方法皆是將研究區域分為若干空間單元，再依其空間鄰近性（spatial proximity）定義出若干子區域，以對各單元中的空間資料屬性作一分析，並進一步比較各單元中的空間資料屬性是否有顯著的相關性。其中Moran's I與G統計量屬於分析全區（global）的空間統計方法，而Local Moran與 $G_i / G_i^*$ 統計量是屬於分析各分區（local）的空間統計方法，本研究即是利用此一空間自相關的技術進行分析與統計上的顯著檢定。

空間統計方法的應用在社經與規劃等議題上並不乏相關案例，包括Andresen（2011）應用Local Moran評估加拿大溫哥華地區犯罪空間聚集的機率；Nassel et al.（2014）藉由到院前心跳停止（out-of-hospital cardiac arrest, OHCA）的歷史資料，以 $G_i^*$ 統計量與Local Moran等空間分析方法辨識科羅拉多州丹佛市的高風險社區；Orford（2004）應用分析全區（Moran's I 與Geary's C）以及分區（Local Moran）等空間自相關的技術比較英國內倫敦（Inner London）貧富變化，並呼應前述Chang（2016）的看法，指出Local Moran比較適合評估空間相似性（spatial

similarity) 而非空間聚集性；Haddad and Nedović-Budić (2006) 則是同時使用 Local Moran與Gi統計量對巴西聖保羅之城市發展不均的情形作一分析；Gallo and Ertur (2003) 以Moran's I與Local Moran、Gi統計量針對1980到1995年的歐洲地區每年平均國內生產毛額 (GDP) 的分佈進行比較；Emslie and Mitchell (2009) 則是應用Moran's I協助評估與分析蘇格蘭地區性別於酒精相關疾病致死率的空間相關性；Szonyi et al. (2015) 運用Local Moran分析2000至2011年間美國德州郡層級的萊姆病 (Lyme disease) 風險空間分佈；Caswell (2016) 則是以Moran Statistics探討加拿大因心肌梗塞造成的住院案例之空間分佈與聚集情形。

此外，張學聖等 (2013) 運用單變數與雙變數Local Moran分析方法，分析農地有交易且轉用為交通使用、建築使用、公共設施使用之空間聚集性與無交易但轉用地區空間關聯性；廖興中與呂佩安 (2013) 及廖興中 (2014) 使用Gi\*統計量與Local Moran分別針對臺灣縣市政府貪腐現象與全球貪腐傳染問題進行空間自相關分析；紀玉臨等 (2012) 藉由Moran's I的分析發現鄉鎮市區人均所得之空間分布有顯著正向的空間自相關，且空間聚集強度在1999-2008的十年間並無明顯變化，顯示區域所得之空間不平等現象並無改善，而Local Moran的分析進一步顯示高所得區域群聚於北中南三個都會區，低所得的空間聚集區則除了原住民山地鄉之外，還有西南部鄉村、東部區域以及澎湖縣也都是所得較低的空間群聚區；馮正民等 (2009) 使用1981-2004年鄉鎮市區的人口粗密度所計算的Global Moran係數，區分台灣四大區域內人口結構的空間分佈聚集程度，並以Local Moran係數對台灣地區各鄉鎮市區進行二、三級產業及業人口密度空間相關性分析。發現1981年二、三級職業人口呈現集中南北兩大都會區的情況，2001年則呈現集中大台北都會一區的空间極化現象；鄒克萬 (2000) 以Moran's I針對北、中、南、東四區域 (不含澎湖) 進行人口分布的時空分析；何燦群與林峰田 (2002) 以Gi\*統計量針對台北、台中、高雄三大都會區的網格 (raster) 資料進行台灣人口聚集性動態分析；謝純瑩與周國屏 (2002)、洪于婷與鄒克萬 (2006)、陳奕奇與劉子銘 (2008) 運用Moran's I與Local Moran分別針對中部地區進行人口老化時空變遷之研究、台灣本島地區307個鄉鎮市之各種地方永續力變化現象、以及評估城鄉教育發展失衡的程度；林文苑 (2011) 以Global G\*與Gi\*統計量分析天然災害老人弱勢族群社經脆弱度評估指標的空間聚集性；白仁德 (2015) 運用Moran Statistics分析1976至2010年間高速公路系統沿線地區人口及產業空間分布變遷；以及謝博明 (2015) 探討台南市住宅價格的研究中，透過Moran's I與Local Moran分析所界定之空間次市場可明顯提升住宅價格估計精確度。由上述之研究內容可知空間統計方法的技術已廣泛應用

於各類社經層面的議題分析，相關的操作與內容的分析也因學術經驗之累積而逐漸趨於成熟。

### 三、研究方法

本研究除以文獻回顧法定義災害耐韌力、蒐集國內外相關的研究以擬訂適合國內分析使用之災害耐韌力指標以及探討相關研究的分析方法外，主要是以於文獻回顧中探討與定義的DEMATEL法，探究專家對災害耐韌力各構面和準則間相互影響關係的看法，並利用DANP法分析指標相互影響關係與影響成份或被影響成份，以確認各災害耐韌力之關聯性，再運用所產生的影響矩陣計算出各指標之影響權重；此一權重將透過空間聚集性分析應用於鄉鎮市區的指標變項分析，以檢視各鄉鎮市區的災害耐韌力空間聚集的情形。以下將就DEMATEL法、DANP法與空間聚集性分析法作一探討與說明其於本研究的應用方式。

#### (一) DEMATEL 法

本研究將透過災害防救相關領域的專家問卷，協助研究相關工作的推動，專家問卷將使用DEMATEL法之設計及分析，以找出災害耐韌力指標之相互影響關係。DEMATEL之操作首先是藉由成份（component）間之關係強弱建立直接關係矩陣，再將直接關係矩陣正規化得出總影響關係矩陣，並依據各變數之計算結果，經由各成份間之因果相互影響關係分析成份間之關係強度（中心度）以及成份影響或被影響的強度（原因度），以釐清各成份間之因果關係與重要性，本研究可藉由此分析釐清各災害耐韌力指標（成份）的相對重要性與彼此影響的關聯程度。

DEMATEL分析方法主要是為了瞭解成份變項間的關聯性，並研究如何解決相互關聯的問題，釐清問題本質，而有助於對策研擬。DEMATEL法由每個問題成份起始，輪流與其它成份做關係強弱之矩陣，表示與其它各個成份間的影響程度，並以其數字大小表示為各關聯性強度，此方法僅討論成份之間內部之關聯性。而DEMATEL分析法則根據客觀事務的具體特點在於確定變量間之相互依存與制約關係，因此反映出系統本質的特徵及各項演變趨勢。（吳泓怡等，2006；張元璋等，2009；曾明朗等，2009）

參考周國村與袁建中（2014）以及楊礎毓等（2010）之研究，DEMATEL分析法之操作方式可定義如下：

1. 定義程度大小：以評估尺度大小表示構面的影響程度，並將其語意值區分為0、1、2、3、4，分別代表「無影響」、「低度影響」、「中度影響」、「高度影響」、「極高度影響」的不同影響程度。
2. 建立直接關係矩陣：所有回收問卷中，各項成份與成份間之分數平均，以建立直接關係矩陣（A），矩陣內的每一個值，表示各成份之間的影響程度大小。
3. 計算標準化關係矩陣：根據步驟1所得之直接關係矩陣A以標準化之係數進行正規化，即可得一標準化關係矩陣（X）。
4. 求出總影響關係矩陣：經由公式 $T = X(I-X)^{-1}$ 可得出直接/間接關係矩陣（總影響關係矩陣T），T之每一列每一行進行加總，即可得出各列之總和D值與各行之總和之R值。將D值與R值，相加與相減，即為中心度（D+R）與原因度（D-R），中心度值越大，關係強度就越高，也代表其重要性越大，原因度正值為影響成份，負值為被影響成份，之後將中心度（D+R）為座標橫列、原因度（D-R）為座標縱列，進行繪圖分析，以判別關係強度與影響成份或被影響成份。

## （二）DANP 法

DANP法是結合DEMATEL法與ANP法的一種複合式多準則決策模式（Multiple Criteria Decision Making, MCDM），依Ou Yang et al.（2008）原始的設計，DANP的運算就是如圖4區分為DEMATEL與ANP的兩個部份，其中應注意的是，DEMATEL是預先進行的第一個過程，其目的是求得各成份相互影響關係與產生影響矩陣；ANP的部份則是要承接DEMATEL的影響矩陣，以計算出各成份影響權重之大小，因此與一般ANP的操作方式略有不同。圖4的部份有七個步驟，步驟1到4是屬於DEMATEL的部份，其過程就是一般的DEMATEL計算，亦即前述之DEMATEL的四個步驟，步驟5到7則是ANP的運算，其中要納入DEMATEL的影響矩陣以產生權重後的超矩陣，以求得影響權重。

步驟1到4主要是DEMATEL的分析過程，本研究參考Chiu et al.（2013）的內容，步驟5之後的ANP分析藉由DEMATEL所產生的總影響關係矩陣T，可加以區隔為n個準則因子的總影響關係矩陣 $T_c$ 與m個構面所產生的 $T_D$ ，亦即 $T_c = [t_c^i]_{n \times n}$  而 $T_D = [t_D^i]_{m \times m}$ ，在此 $T_c$ 即為原來的總影響關係矩陣T， $T_D$ 則是構面的總影響關係矩陣，可透過各列總和之 $t_D^i = \sum_{j=1}^m t_D^{ij}$  將對應各列的值加以標準化為。

另外透過標準化程序可將n個準則因子的總影響關係矩陣 $T_c$ ，藉由各構面的列和加以標準化為 $T_c^{nor}$ 。進一步將加以轉置，即可建立未權重化超級矩陣

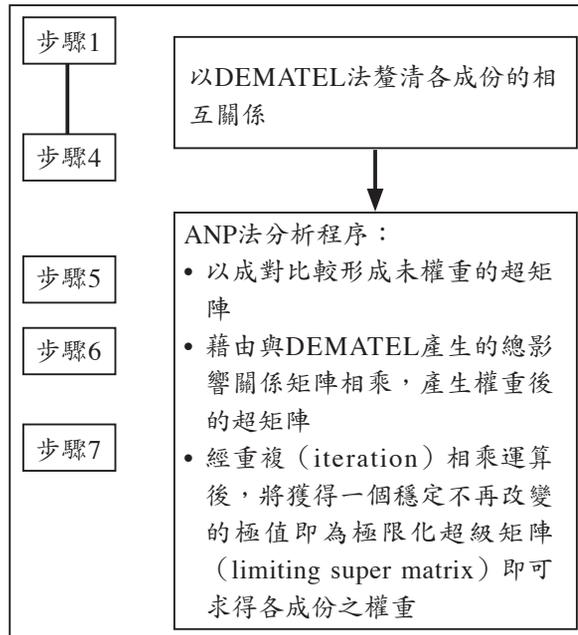


圖4 DANP分析流程

資料來源：Ou Yang et al., 2008

(unweighted supermatrix)  $W_C$ ，而權重化超級矩陣 (weighted supermatrix)  $W_C^*$  可以透過標準化構面總影響關係矩陣  $T_D^{nor}$  與未權重化超級矩陣  $W_C$  的相乘取得。最後，權重化超級矩陣  $W_C^*$  透過  $\varphi$  次自身相乘加以極限化： $\lim_{\varphi \rightarrow \infty} (W_C^*)^\varphi$ ，即可取得各準則因子的 DANP 權重。

### (三) 空間聚集性分析

本研究擬將 DANP 分析權重後的災害耐韌力指標變項計算結果，應用在空間聚集性的分析上，以空間化的資料呈現與探討，瞭解各鄉鎮市區間災害耐韌力指標變項的空間聚集分佈情形。研究中擬採用之空間自相關工具為 Moran 與 G 統計量，根據 Cliff and Ord (1973)、Anselin (1995) 與 Getis and Ord (1992) 的解釋，無論是 Global 或 Local 的 Moran 與 G 統計量，都必須先行定義子區域 (pockets)，一般子區域的定義方式是先在一分為  $n$  個空間單元的研究區域中，以每個空間單元  $i$  以其範圍內的一個點 (通常是其地理中心點，即 centroid) 為代表，而每個點也代表一個取自隨機變數  $X$  (如空間單元中的社經脆弱度評估值) 的值  $x_i$ ，若給定一個半徑距離  $d$ ，以每個空間單元  $i$  的代表點為圓心分別向外畫出半徑距離  $d$  的圓，

則包含在每個圓中的點所代表的其他空間單元  $j$  即為空間單元  $i$  的鄰近空間單元 (neighbors)，如此即可定義出  $n$  個子區域。就全區 (global) 而言，Moran's  $I$  與 Global  $G$  可以透過整個區域的特定變項值是隨機分佈的虛無假設，在特定的分佈假設下 (如常態分配)，判定區域內的變項值是有顯著的空間相似 (similarity) 或聚集 (clustering)；而對於每個子區域，Local Moran與 $G_i^*$ 統計量可以分區 (Local) 的方式，分別量測其中隨機變數  $X$  相對於其他子區域的 $X$ 值之空間相似性與聚集程度。

對Moran與 $G$ 統計量而言，無論是全區或分區的聚集性量測，都必須建立 $\{w_{ij}\}$ 的空間關係權重矩陣， $\{w_{ij}\}$ 權重是一個由0與1構成的 $n$ 乘 $n$ 對稱矩陣，在此矩陣中的每一個值 (0與1) 代表每個空間單元  $i$  與其他空間單元的空間關係，當此矩陣中的元素 $w_{ij}(d) = 1$ 時代表空間單元  $j$  位於空間單元  $i$  以半徑距離  $d$  所構成的子區域中，而 $w_{ij}(d) = 0$ 時即是代表空間單元  $j$  位於空間單元  $i$  以半徑距離  $d$  所構成的子區域之外。

本研究在進行災害韌力指標變項之空間自相關分析時，將以鄉鎮市區行政區為空間分佈單位，據以探究災害韌力的空間自相關是否顯著。由於鄉鎮市區的面積與形狀大小會因城鄉因素與所在空間位置等有極大的差異，因此本研究將以空間鄰接 (contiguous) 的方式取代距離  $d$  來定義子區域。假設 $x_j$ 是第  $j$  個鄉鎮市區的災害韌力屬性值，而當第  $j$  個鄉鎮市區與第  $i$  個鄉鎮市區的邊界鄰接時， $w_{ij}$ 為1，反之則為0。研究的進行首先將定義子區域之範圍，而子區域的定義將參考鄉鎮市區行政區的地理位置關係與災害韌力屬性值等考量因素，有系統地以各空間分佈單位 (鄉鎮市區) 與其相鄰之其他空間分佈單位劃分出各單一子區域。資料空間分佈之空間自相關分析，即是對各子區域中的資料作相似性與聚集性之比較，而比較的方式可根據常態分配之假設 (normal distribution assumption)，作為空間自相關之統計顯著判定。

## 四、研究內容

### (一) 指標擬訂與問卷設計

經由韌力定義之確立與相關文獻中量測指標之回顧後，參考前述Joerin et al. (2014) 的氣候災害韌力指數 (CDRI)、Cutter et al. (2010) 的基礎韌力指標 (BRIC)、Chan et al. (2014) 的災害韌力指標、以及曾敏惠與吳杰穎 (2014) 的四類回復力 (韌力) 因子等，以及考量指標量測之統計與圖層資料取得之可行性，配合可適切評估鄉鎮市區層級災害韌力的內容提出一組韌力評估指標。

本研究針對災害耐韌力的量測建立一個指標架構系統如表4與圖5所示，並將各項因子作為指標問項。雖然評估項目與指標看似獨立，但其間仍應存在相互的影響；藉由問卷透過專家學者對災害耐韌力的評估，本研究運用DEMATEL法找出指標相互影響關係與影響成份或被影響成份，以確認各災害耐韌力之相互影響程度與關聯性。之後再透過DANP法，藉由DEMATEL的分析結果，計算各指標的ANP權重。

表4 災害耐韌力評估指標架構列表

評估項目	社會背景 (C1)	經濟基礎 (C2)	環境條件 (C3)	應變能量 (C4)
評估指標	非失業人口 (F1) 非老年人口 (F2) 個人所得 (F3)	營利事業銷售額 (F4) 災害保險 (F5) 政府預算 (F6)	非自然災害潛勢 (F7) 交通能力 (F8) 都市計畫區 (F9)	緊急救援能量 (F10) 醫療服務能量 (F11) 避難收容能量 (F12)

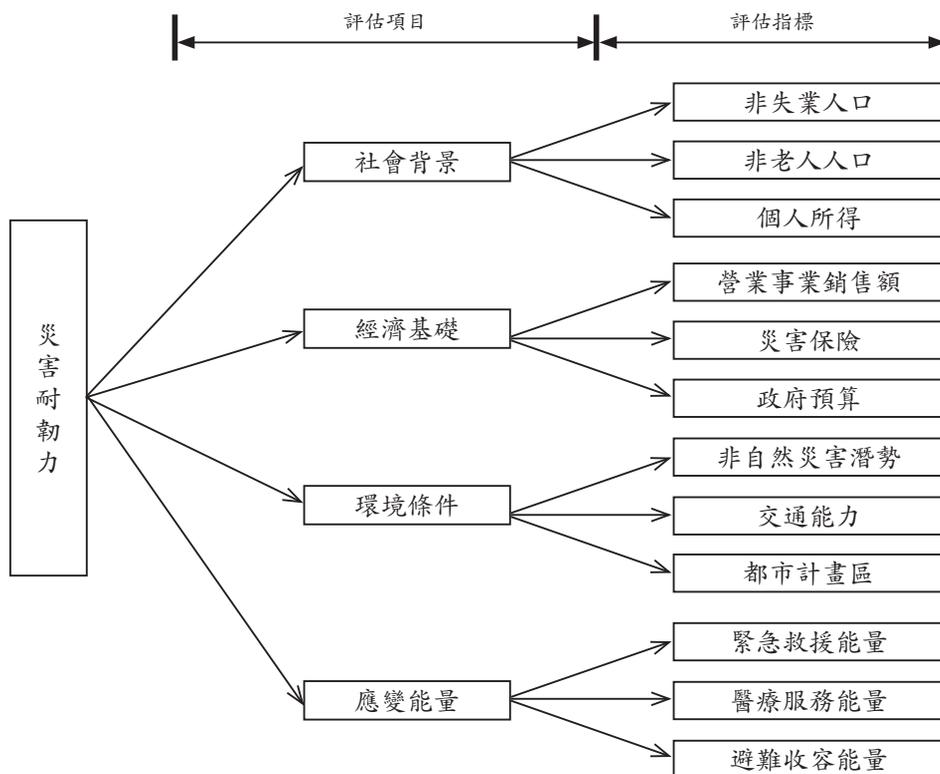


圖5 災害耐韌力評估指標架構

參考由Joerin et al. (2014)、Cutter et al. (2010) 與Chan et al. (2014) 等提出的指標內容，本研究就DEMATEL分析適合的指標與現有資料內容，針對此一架構中篩選出四個評估項目：「社會背景」、「經濟基礎」、「環境條件」、「應變能量」，每個項目之下各列出三個評估指標，共計十二個指標（均與耐韌力呈現正向關係），其內容、指標計算方式與原始資料來源列舉如表5，由表5中可看出此12項指標可分為兩大類：統計資料與空間圖層；其中評估項目「社會背景」與「經濟基礎」的六項指標是以統計資料的格式為主，而屬於「環境條件」與「應變能量」的另六項指標則是以空間圖層的格式呈現。

表5 災害耐韌力評估指標變項內容  
(所有指標均與耐韌力為正向關係)

資料格式	指標	計算方式	原始資料	資料年期	資料來源
統計資料	非失業人口 (F1)	各縣市非失業比例 (縣市非失業人口 / 總人口)	各縣市失業率	2015	行政院主計總處
	非老年人口 (F2)	各鄉鎮市區非老年人口比例 (鄉鎮市區非老年人口 / 總人口)	各鄉鎮市區65歲以上人口	2015	內政部戶政司
	個人所得 (F3)	各鄉鎮市區平均個人所得 (鄉鎮市區平均個人所得 / 總人口)	各鄉鎮市區綜合所得總額	2015	財政部國稅局
	營利事業銷售額 (F4)	各鄉鎮市區營利事業銷售額 (縣市營利事業銷售額 × 鄉鎮市區人口比例)	各縣市營利事業銷售額	2015	經濟部工業局
	災害保險 (F5)	各鄉鎮市區平均個人投保災害險費用 (鄉鎮市區災險保費收入 / 總人口)	各鄉鎮市區災險保費收入	2015	財團法人保險事業發展中心
	政府預算 (F6)	各鄉鎮市區總預算 (縣市總預算 × 鄉鎮市區人口比例)	各縣市總預算	2015	行政院主計總處

表5 災害耐韌力評估指標變項內容（續）  
（所有指標均與耐韌力為正向關係）

資料格式	指標	計算方式	原始資料	資料年期	資料來源
空間圖層	非自然災害潛勢 (F7)	各鄉鎮市區非位於潛勢區的面積比例 (鄉鎮市區非災害潛勢區面積 / 總面積)	各類災害潛勢圖	2015	國家災害防救科技中心
	交通能力 (F8)	各鄉鎮市區每平方公里平均道路長度 (鄉鎮市區主要道路長度 / 總面積)	全國主要道路圖	2016	樂客電子地圖
	都市計畫區 (F9)	各鄉鎮市區都市計畫區面積比例 (鄉鎮市區都市計畫區面積 / 總面積)	全國都市計畫區圖	2015	內政部營建署
	緊急救援能量 (F10)	各鄉鎮市區消防分隊4公里半徑涵蓋面積比例 (消防分隊服務半徑 / 鄉鎮市區面積)	全國消防分隊位置圖	2015	內政部消防署
	醫療服務能量 (F11)	各鄉鎮市區緊急醫療服務範圍涵蓋面積比例 (各級醫療院所服務範圍 / 鄉鎮市區面積)	全國急救責任醫院位置圖	2015	國家災害防救科技中心
	避難收容能量 (F12)	各鄉鎮市區避難收容場所服務範圍面積比例 (避難收容場所服務範圍 / 鄉鎮市區面積)	全國避難收容場所位置圖	2015	國家災害防救科技中心

以空間圖層格式呈現的指標中，自然災害潛勢考量了淹水、土石流、海嘯、土壤液化以及活動斷層、坡地等地質災害，其評估的條件如下：

1. 淹水：日降雨量450 mm、淹水1公尺以上地區。
2. 土石流：潛勢溪流兩側各50公尺及影響範圍。
3. 海嘯：所有海嘯潛勢浸淹地區。

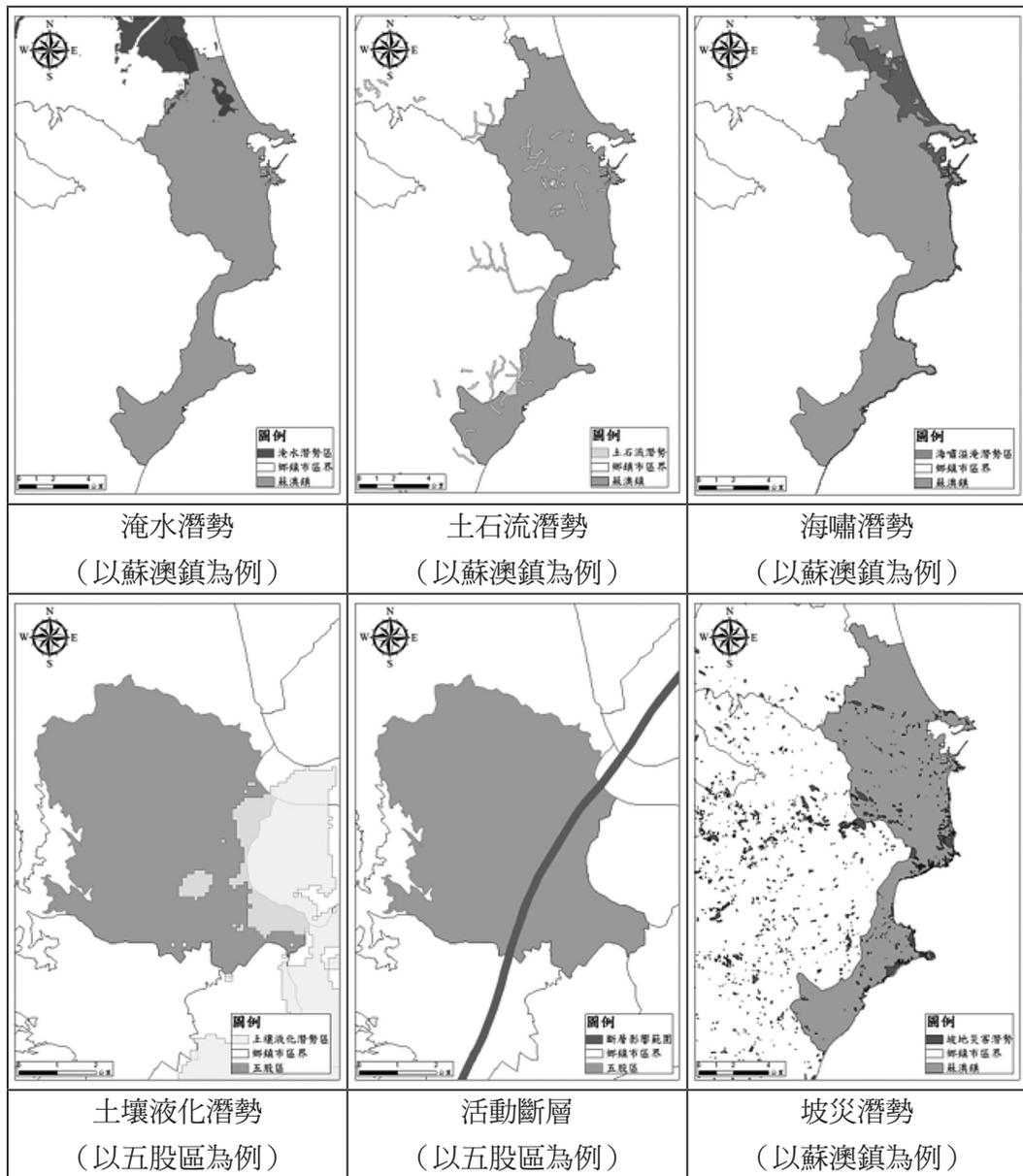


圖6 自然災害潛勢指標評估範例

4. 土壤液化：土壤液化分為低、中、高三級潛勢，由於低潛勢區範圍廣，影響指標的鑑別度，本研究僅採列中、高兩級。
5. 活動斷層：斷層帶兩側各100公尺之範圍。
6. 坡地：所有岩體滑動、岩屑崩滑、順向坡、落石的坡災潛勢地區。

本研究以鄉鎮市區為空間單元進行自然災害潛勢的耐韌力評估，各單元針對此六類自然災害潛勢的耐韌力的高低，是以空間單元中未受到災害潛勢影響的面積比例來估算，其操作範例如圖6所示。

自然災害潛勢的耐韌力評估即是以各項災害潛勢的影響範圍加以套疊整合後，計算未受災害潛勢影響所佔的面積所得。其他以空間圖層格式呈現的指標評估方法概述如下：

1. 交通能力：在地區的交通能力評估上，是以主要道路（國道、省道與縣道等）之道路長度為主，亦即鄉鎮市區每平方公里之主要道路長度。
2. 都市計畫區：本研究視之為土地使用方面的耐韌力，是以每個鄉鎮市區的都市計畫區佔其總面積的比例加以計算。
3. 緊急救援能量：本研究是以消防單位的服務能力作為緊急救援的指標，依何明錦與洪鴻智（2007）所定義消防單位有效半徑為距離消防隊4公里內之範圍，計算消防分隊服務範圍佔鄉鎮市區的總面積比例。
4. 醫療服務能量：依何明錦與李威儀（2000）防災避難圈之劃設，將醫院區分為醫學中心及區域醫院等級與診所，其中醫學中心的劃設指標以4,000公尺為單位，而區域醫院則以步行距離2,000公尺為單位，診所衛生所等則是1,000公尺為服務範圍，計算各鄉鎮市區的服務範圍比例。
5. 避難收容能量：各鄉鎮市區的避難收容能量耐韌力評估是以收容避難場所半徑1公里內之範圍所佔比例加以計算。

圖7為上述整合之非自然災害潛勢與交通能力、都市計畫區、緊急救援能量、醫療服務能量與避難收容能量耐韌力評估的範例，依此建立之指標，本研究透過專家問卷的方式，進行災害耐韌力各面向與因子的確認，以利DEMATEL與DANP等的後續分析。

## （二）問卷施測與回收結果之 DEMATEL 分析

本研究採用DANP法是希望藉由DEMATEL的結果來計算ANP權重，除可取得指標權重外，也同時可藉由DEMATEL看出各指標與各構面的相互影響關係。使用DANP法並非是為了運用DEMATEL分析來改變評估架構，只是希望能藉中心度與原因度的分析，檢視具有影響力或有較強關聯性的指標與構面，而此一分析也不會對指標架構成影響。

DEMATEL分析法主要是為了研究如何解決相互關聯的問題，釐清問題本質，而有助於對策研擬。DEMATEL分析由每個問題因子起始，輪流與其它因子做關係

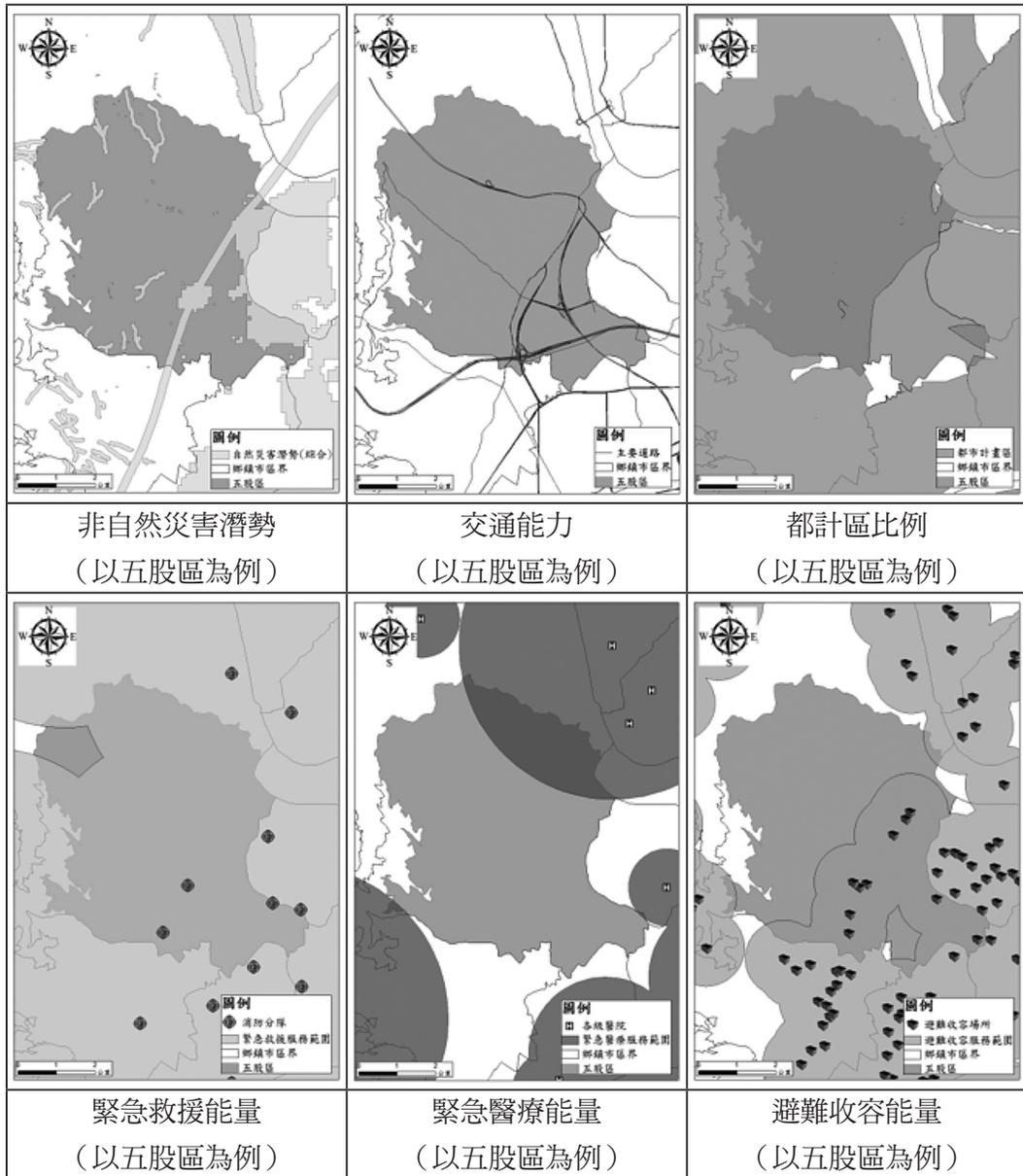


圖7 六項空間圖層格式耐韌力指標評估範例

強弱之矩陣，表示與其它各個因子間的影響程度，並以其數字大小表示為各關聯性強度，此方法僅討論因子之間內部之關聯性。本研究主要的目的之一是瞭解災害耐韌力評估中，各項耐韌力因子的彼此影響情形與關係，藉以找出其中重要的影響因子與各因子受影響的情形，DEMATEL分析應可符合此一需求。

於本研究中的DEMATEL問卷各因子項目評定方式採0~4個等級，分數愈高表示因子之間影響程度愈高，0為沒有影響、1為低度影響、2為中度影響、3為高度影響、4為極高影響，並填入整數值，每一評估項目為因子之間的影响程度，其影響程度考量災害脆弱度為主。

本研究的問卷以此十二個指標作為問項，於2016年的7月開始邀請10位學術與研究機構的專家協助填答此一問卷，這十位專家包括台北大學、台北市立大學、中央大學、屏東科技大學、臺灣大學、交通大學各1位，以及國家災害防救科技中心、中央警察大學各2位。

調查回收的問卷首先經由整理及問項編碼後計算各指標平均值，產生指標的直接關係矩陣，之後將之標準化為直接/間接關係矩陣。由直接/間接關係矩陣可計算出如表6的列和（D）與行和（R），以及中心度（D+R）與原因度（D-R）。其中D+R（中心度）之值越高，代表該因子與其它因子關係強度越高，相反地數值越低則表示該因子與其他因子較無關聯性；而D-R（原因度）若為正值代表該因子為影響因子，數值越大表是影響其它因子之能力越強，若是為負值則代表該因子為被影響因子，負值越大表示其越易受到其它因子之影響。本次問卷中12項因子的中心度與原因度計算結果如表6所示。

表6 耐韌力指標中心度與原因度之計算

	列和 (D)	行和 (R)	中心度 (D+R)	原因度 (D-R)
非失業人口 (F1)	1.84063	1.74091	3.58154	0.09972
非老年人口 (F2)	2.41228	1.87601	4.28829	0.53627
個人所得 (F3)	2.64689	2.20658	4.85348	0.44031
營利事業銷售 (F4)	2.61403	2.30900	4.92303	0.30503
災害保險 (F5)	1.25352	2.41129	3.66482	-1.15777
政府預算 (F6)	3.14993	2.76981	5.91974	0.38013
非自然災害潛勢 (F7)	2.72536	1.19976	3.92512	1.52560
交通能力 (F8)	2.26578	2.36447	4.63025	-0.09869
都市計畫區 (F9)	2.97777	2.31250	5.29028	0.66527
緊急救援能量 (F10)	1.64034	2.63518	4.27553	-0.99484
醫療服務能量 (F11)	1.82151	2.60697	4.42848	-0.78546
避難收容能量 (F12)	1.64105	2.55660	4.19765	-0.91556

由表6中可得知「政府預算」與「都市計畫區」的中心度最高，分別為5.91974與5.29028，說明了這兩項因子與其他因子的關係強度最高；進一步來看，原因度分數呈現負值的是「災害保險」、「緊急救援能量」、「避難收容能量」、「醫療服務能量」、與「交通能力」，這些是受影響的因子而非影響其他項目的因子，也就是這五個因子是受到影響之關係強度最高者，除了「交通能力」的原因度絕對值較低（-0.09869），其他4個因子絕對值都在0.78以上，亦即是最容易受到影響的因子。

進一步由各評估指標之構面（亦即“評估項目”）加以整理，可以針對構面進行DEMATEL分析。此一操作首先要將各構面中所有指標平均值再加以平均，之後計算出所屬四個構面之平均值而得出構面的直接關係矩陣，再加以標準化求得構面的直接/間接關係矩陣，並計算出如表7之構面直接/間接關係矩陣的列和與行和、以及中心度與原因度。

表7 耐韌力指標構面中心度與原因度

	列和 (D)	行和 (R)	中心度 (D+R)	原因度 (D-R)
社會背景 (C1)	5.044	4.241	9.285	0.804
經濟基礎 (C2)	5.114	5.458	10.572	-0.344
環境條件 (C3)	5.780	4.276	10.056	1.504
應變能量 (C4)	3.686	5.650	9.336	-1.964

由表7中耐韌力指標構面中心度與原因度的結果，可以其在中心度與原因度的分佈數值，加以轉繪為圖8的構面因子關聯分佈圖，透過四個原因度與中心度所在的象限探討各構面間之影響力與關聯性，以方便後續分析。

由圖8 DEMATEL的構面分析可知，此四個耐韌力構面在原因度（影響力）與中心度（關聯性）的強弱關係為：

原因度（影響力）：環境條件 > 社會背景 > 經濟基礎 > 應變能量

中心度（關聯性）：經濟基礎 > 環境條件 > 應變能量 ≈ 社會背景

雖然「環境條件」是影響力強且關聯度高的構面，但與其他構面的關聯性仍低於影響力弱的「經濟基礎」，另一個影響力較強的構面是「社會背景」，其關聯性與影響力最弱的「應變能量」也非常接近；整體而言「環境條件」雖較為突出，但並無任何一個構面是同時具備絕對高的影響力與關聯性，而位於第三象限的

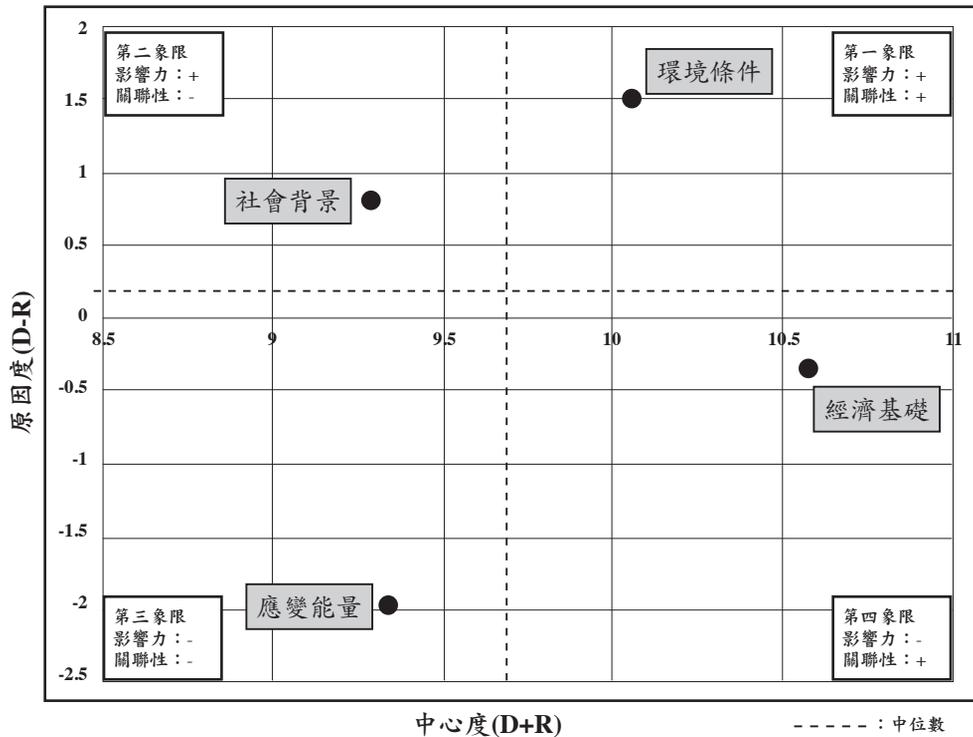


圖8 構面因子關聯分佈

「應變能量」，其關聯性也與第二象限的「社會背景」相去不遠，因此各構面於 DEMATEL 分析中並無絕對的優勢或劣勢。

### (三) DANP 分析

參考Ou Yang et al. (2008) 的 DANP 分析方式，可計算出表 8 的標準化構面總影響關係矩陣：

表8 標準化構面總影響關係矩陣

	社會背景 (C1)	經濟基礎 (C2)	環境條件 (C3)	應變能量 (C4)
社會背景 (C1)	0.212	0.227	0.210	0.214
經濟基礎 (C2)	0.308	0.252	0.278	0.271
環境條件 (C3)	0.203	0.232	0.214	0.225
應變能量 (C4)	0.277	0.289	0.298	0.290

本研究採用SuperDecision軟體進一步將各指標準則因子的總影響關係矩陣 $T_c$ 藉由各構面的列和加以標準化，得出標準化因子總影響關係矩陣，並加以轉置後求得重化超級矩陣 $W_c$ ；再將標準化構面總影響關係矩陣與未權重化超級矩陣 $W_c$ 相乘，求出權重化超級矩陣；此一權重化超級矩陣加以極限化：後所取出各災害耐韌力指標之準則因子的DANP權重如表9所示。

表9 災害耐韌力指標之準則因子的DANP權重

		相對權重	指標權重 順序	構面權重	構面權重 順序
社會背景 (C1)	非失業人口 (F1)	0.0643	11	0.2163	4
	非老年人口 (F2)	0.0715	10		
	個人所得 (F3)	0.0805	9		
經濟基礎 (C2)	營利事業銷售額 (F4)	0.0845	8	0.2753	2
	災害保險 (F5)	0.0873	5		
	政府預算 (F6)	0.1035	1		
環境條件 (C3)	非自然災害潛勢 (F7)	0.0461	12	0.2198	3
	交通能力 (F8)	0.0865	7		
	都市計畫區 (F9)	0.0872	6		
應變能量 (C4)	緊急救援能量 (F10)	0.0977	2	0.2887	1
	醫療服務能量 (F11)	0.0971	3		
	避難收容能量 (F12)	0.0938	4		

藉由檢視表9的各準則因子DANP權重可以發現，指標重要性由高而低分別為政府預算 (F6)、緊急救援能量 (F10)、醫療服務能量 (F11)、避難收容能量 (F12)、災害保險 (F5)、都市計畫區 (F9)、交通能力 (F8)、營利事業銷售額 (F4)、個人所得 (F3)、非老年人口 (F2)、非失業人口 (F1) 與非自然災害潛勢 (F7)；由DANP分析專家的意見中，災害耐韌力評估最重要的是政府預算的狀況，其次是各類的災害應變能量，之後是災害保險、都市計畫區、交通能力、營利事業銷售額等與經濟及地方發展有關的指標，其中社會背景項目的指標與自然災害潛勢是權重相對較低者。而這12項指標反應在構面上所形成的權重高低則為應變能量 (C4) > 經濟基礎 (C2) > 環境條件 (C3) > 社會背景 (C1)，但仔細檢視其權重值，可以發現分布在0.2163到0.2887之間，四個構面的權重差異其實相去不遠。

(四) 耐韌力指標權重評估與空間聚集性分析

1. 鄉鎮市區耐韌力指標權重評估

由於各項指標的評估量測單位不同，如社經指標的單位為人口比例與平均所得、災害潛勢為影響的面積比例、災害防救能量則為服務範圍面積比例等；即使是單位相同，其資料範圍 (range) 也可能差異甚大 (如不同的脆弱人口、潛勢地區面積的比例等)。因此在進行指標權重評估前，需要將其加以標準化並整合為同一量測單位。本研究採取以下方式將各耐韌力指標的評估分數加以標準化，使其分佈界於0到100之間：

$$\frac{x_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \dots\dots\dots (式1)$$

其中

$x_i$  為鄉鎮市區i的變項X值

$X_{\min}$  為變項X的最小值

$X_{\max}$  為變項X的最大值

因此，在考量12項指標變項並乘以每個變項的權重 $W_i$ 後，鄉鎮市區i的耐韌力指標評估分數即為：

$$\sum_{i=1}^{12} W_i \times \frac{x_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \dots\dots\dots (式2)$$

經由上式的計算所得的鄉鎮市區耐韌力指標評估分數其平均值與標準差分別為31.359、14.027，其最小值為11.237，最大值則為77.077，全距 (Range) 則是65.84，代表此一耐韌力指標架構有良好的鑑別能力，可以明顯區隔耐韌力不同高低的空間單元，表10將耐韌力分數最高與最低的前十名鄉鎮市區加以陳列。

於表10中可看出耐韌力評估分數最高的鄉鎮市區集中於台北市與新北市，亦即耐韌力高者多是位於北部都會化最集中的地區；但耐韌力評估分數最低者則分佈在台南市、苗栗縣、宜蘭縣、屏東縣、花蓮縣等所屬的鄉鎮市區，都是屬於地理位置較為偏遠的行政區。

由於本研究之空間統計方法受限於位於台灣本島陸地之鄉鎮市區，因此僅以本島範圍的348個鄉鎮市區加以呈現如圖9所示並採用20百分位數加以區隔為五個群組以利辨識。由圖9可知，耐韌力評估分數較低的鄉鎮市區，多位於如圖10中央山脈的山區與東部地區；而耐韌力較高者則多是位於西部的北、中、南都會區。雖然圖9與圖10可以提供一個大致的耐韌力評估分數空間分佈的輪廓，但若要更深入瞭解

表10 耐韌力分數最高與最低的前十名鄉鎮市區

耐韌力分數最高前十名鄉鎮市區		耐韌力分數最低前十名鄉鎮市區	
鄉鎮市區	耐韌力分數	鄉鎮市區	耐韌力分數
台北市大安區	77.07683	台南市龍崎區	11.23694
台北市中山區	69.76449	苗栗縣泰安鄉	12.34163
台北市中正區	69.57616	宜蘭縣大同鄉	12.43034
新北市板橋區	68.07031	宜蘭縣南澳鄉	12.63633
台北市信義區	67.6137	苗栗縣南庄鄉	12.97469
台北市萬華區	67.58881	屏東縣春日鄉	13.17302
台北市文山區	65.89275	花蓮縣豐濱鄉	13.26378
新北市三重區	65.44071	屏東縣來義鄉	13.31487
台北市松山區	64.8796	屏東縣霧台鄉	13.43083
台北市大同區	64.49978	台南市左鎮區	13.44833

其分佈的聚集性，仍需透過空間統計的分析來協助進一步加以檢視。

## 2. 耐韌力評估空間聚集性分析

本研究藉由空間自相關分析 (spatial autocorrelation) 的空間統計量 (spatial statistics)，進一步分析台灣本島各鄉鎮市區的災害耐韌力空間聚集 (spatial clustering) 情形。在此所採用的主要是兩類空間統計量：G統計量以及Moran統計量。使用空間統計量的一大優勢是可以在常態分配的假設之下，進行空間聚集是否顯著的假設檢定，G統計量與Moran統計量雖然都是屬於空間聚集檢定的統計方法，但其定義與目的卻有所不同。G統計量的檢定主要是屬於各子區域內是否呈現空間「高耐韌力與高耐韌力」聚集與空間「低耐韌力與低耐韌力」聚集的統計顯著判定，而Moran統計量則是用以判斷各子區域內是否具有資料的高度同質性或異質性 (heterogeneity) 的聚集型態。

G統計量的假設陳述為：

$H_0$ ：子區域內耐韌力分佈未呈現顯著同類型空間聚集

$H_1$ ：子區域內耐韌力分佈呈現顯著同類型空間聚集

當子區域呈現顯著空間聚集時，G統計量可以Z值的正負決定其是高耐韌力 ( $Z > 0$ ) 或低耐韌力的空間聚集 ( $Z < 0$ )。相對的，Moran統計量的假設陳述則為：

$H_0$ ：子區域內耐韌力分佈未呈現顯著同質性或異質性空間聚集

$H_1$ ：子區域內耐韌力分佈呈現顯著同質性或異質性空間聚集

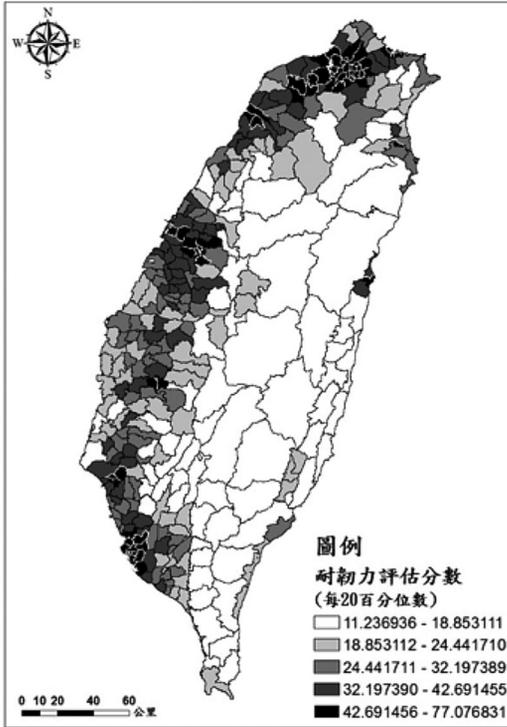


圖9 台灣本島鄉鎮市區耐韌力評估分數空間分佈

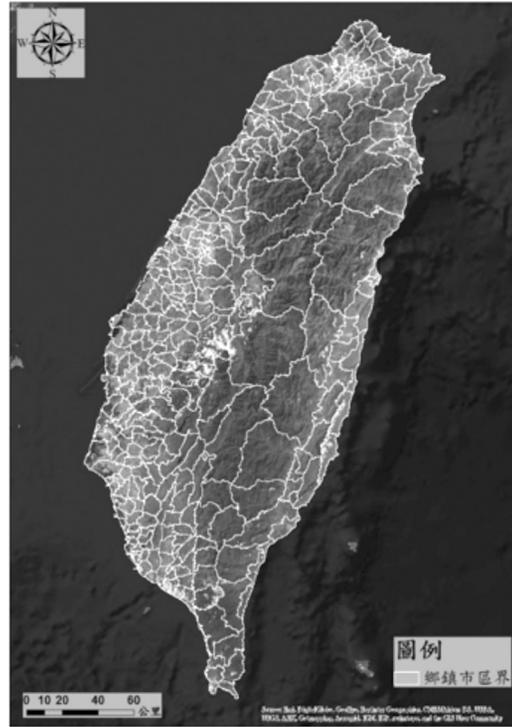


圖10 台灣本島鄉鎮市區地形位置分佈對照

以G統計量而言，其檢定呈現統計上的顯著代表著同質性的聚集，當數值為正值時是空間「高耐韌力(H)與高耐韌力(H)」聚集，而負值即為空間「低耐韌力(L)與低耐韌力(L)」聚集；Moran統計量的檢定顯著則有不同的意義，當數值為正值時代表子區域內具有顯著的同質性(可能是高耐韌力(H)，或者是低耐韌力(L)的聚集)，而負值則是具有顯著的異質性(高耐韌力(H)與低耐韌力(L)的聚集)空間聚集。透過表11可將兩種統計量之統計檢定顯著上的意義做一比較。

若由台灣本島全域(Global)的觀點，Global G\*統計量的計算結果之Z值為8.80563 ( $G = 0.017937$ )，其p值小於0.05 ( $p = 0.000$ )，因此整體而言台灣本島鄉鎮市區間的耐韌力是呈現顯著的空間聚集；而Moran's I (Moran統計量的Global值)之Z值則為23.3321 (Moran's I = 0.76367)，其p值小於0.05 ( $p = 0.000$ )，代表各鄉鎮市區間的耐韌力是呈現顯著的「同質化」聚集現象。

表11 G統計量與Moran統計量於統計檢定顯著上的意義差異比較

	統計檢定顯著	
	數值為正值	數值為負值
G統計量	HH：高耐韌力與高耐韌力聚集	LL：低耐韌力與低耐韌力聚集
Moran統計量	HH：高耐韌力與高耐韌力聚集 或 LL：低耐韌力與低耐韌力聚集	HL：高耐韌力為中心，週圍為低耐韌力 或 LH：低耐韌力為中心，週圍為高耐韌力

由子區域的尺度作分區的Local分析，圖11與圖12可以發現， $G_i^*$ 統計量於95%信心水準下呈現顯著高耐韌力聚集的子區域有68個，呈現顯著低耐韌力聚集的子區域則有87個；若就不同的 $p$ 值顯著水準來看， $p$ 值小於或等於0.00001的子區域有16個，介於0.00001與0.0001的子區域有18個，介於0.0001與0.001的子區域有28個，介於0.001與0.05的子區域有93個，未呈現顯著的子區域則有193個。

表12進一步將呈現不同顯著水準的高耐韌力聚集與低耐韌力聚集子區域數加以區隔，可以發現達顯著水準 $p \leq 0.00001$ 的高耐韌力聚集的子區域有12個，遠高於低耐韌力聚集的4個，而顯著低耐韌力聚集的子區域則在顯著水準 $0.00001 < p \leq 0.0001$ 、 $0.0001 < p \leq 0.001$ 、 $0.001 < p \leq 0.05$ 的數量普遍多於呈現顯著高耐韌力聚集者。

由表13對 $G_i^*$ 統計量分析呈現 $p$ 值 $\leq 0.00001$ 的16個高、低耐韌力聚集子區域的整理中，可以發現呈現高度顯著的12個高耐韌力聚集子區域中心分佈在台北市（中山區、大同區、松山區、中正區、萬華區、信義區、大安區、文山區）、新北市（三重區、板橋區、永和區）與高雄市（三民區）三個直轄市的市轄區，而4個高度顯著的低耐韌力聚集子區域中心則分別位於屏東縣霧台鄉、花蓮縣卓溪鄉、高雄市桃源區與台中市和平區。從表13的分析對照圖11與圖12的鄉鎮市區位置，可以很明顯地看出高耐韌力聚集出現在都會地區與低耐韌力聚集位於偏遠區域的城鄉差距；這也說明了雖然 $G_i^*$ 統計量於95%信心水準下有68個呈現顯著高耐韌力聚集的子區域，而呈現顯著低耐韌力聚集的子區域有87個，亦即數量上顯著低耐韌力聚集的子區域大於高耐韌力聚集者，但由於高度顯著的低耐韌力聚集子區域數量仍小於高耐韌力聚集者，其全域的Global  $G^*$ 統計量 $Z$ 值仍為正值的8.80563，代表其空間聚集仍是以高耐韌力聚集為主要的分佈趨勢。

另一個空間統計的LISA（或Local Moran）統計量分析，是針對資料空間分佈是否呈現顯著同質性或異質性空間聚集來加以檢視；不同於 $G_i^*$ 統計量，LISA的檢

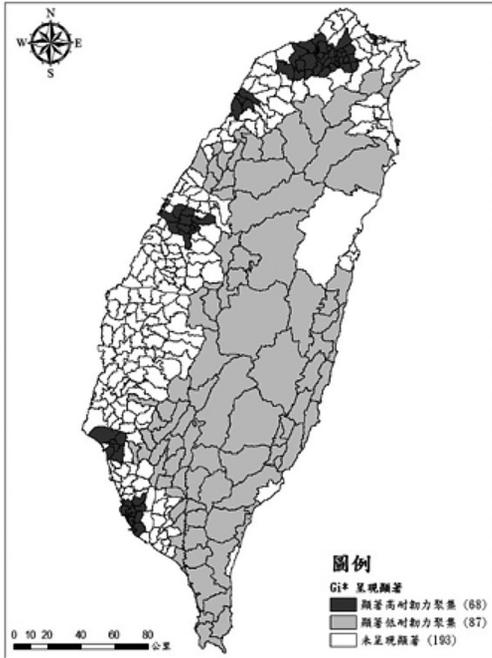


圖11 Gi\*統計量分析之顯著聚集分佈

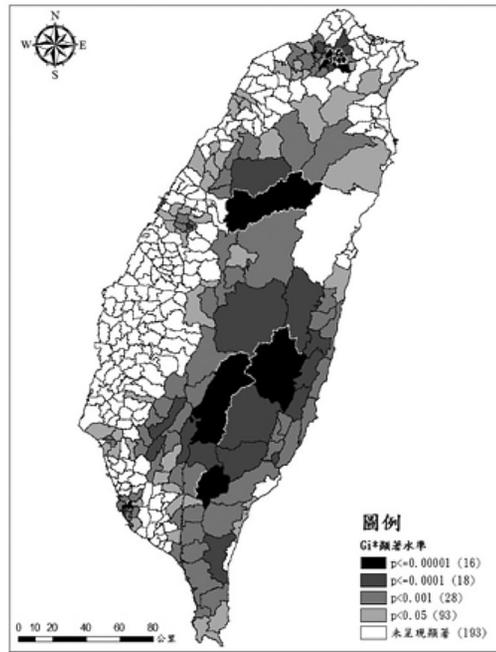


圖12 Gi\*統計量分析之不同程度顯著聚集

表12 Gi\*統計量分析中不同顯著水準的高、低耐韌力聚集子區域數量

顯著水準	$p \leq 0.00001$	$0.00001 < p \leq 0.0001$	$0.0001 < p \leq 0.001$	$0.001 < p \leq 0.05$	所有 $p \leq 0.05$
高耐韌力聚集	12	5	6	45	68
低耐韌力聚集	4	13	22	48	87
合計	16	18	28	93	155

定如表14所列是針對同質性或異質性的空間聚集，其中同質性的檢定又可區分為“高數值與高數值”(HH)以及“低數值與低數值”(LL)，其定義與Gi\*統計量相似，而LISA在異質性的檢定上則可再加以區分為以高數值為中心其他子區域內的空間單元為低數值的“高數值與低數值”(HL)，以及以低數值為中心其他子區域內的空間單元為高數值的“低數值與高數值”(LH)兩種聚集型式。

表13 Gi\*統計量p值  $\leq 0.00001$ 之高、低耐韌力聚集子區域中心

高耐韌力聚集子區域				低耐韌力聚集子區域			
縣市	鄉鎮市區	耐韌力 評估分數	Gi*值	縣市	鄉鎮市區	耐韌力 評估分數	Gi*值
台北市	大安區	77.0768	0.0063	花蓮縣	卓溪鄉	14.0813	0.001483
台北市	中正區	69.5762	0.0062	台中市	和平區	13.4691	0.001481
台北市	中山區	69.7645	0.0062	高雄市	桃源區	15.5255	0.001426
台北市	大同區	64.4998	0.0061	屏東縣	霧台鄉	13.4308	0.001407
台北市	松山區	64.8796	0.0061				
台北市	信義區	67.6137	0.0060				
台北市	萬華區	67.5888	0.0060				
新北市	永和區	58.9342	0.0060				
新北市	三重區	65.4407	0.0056				
新北市	板橋區	68.0703	0.0055				
台北市	文山區	65.8927	0.0051				
高雄市	三民區	63.4451	0.0047				

由圖13與圖14可以發現，LISA統計量於95%信心水準下呈現顯著的子區域是以同質性的子區域空間聚集為主，其中顯著HH聚集的子區域有68個，呈現顯著LL聚集的子區域則有86個；而顯著的異質性空間聚集只有1個，是屬於HL的子區域聚集。

表14進一步將呈現不同顯著水準的耐韌力聚集子區域數加以整理，可以發現達顯著水準 $p \leq 0.00001$ 的子區域均為同質性顯著，其中HH聚集的子區域有12個，遠高於LL聚集的4個，而LISA分析中唯一一個顯著的異質性聚集，是屬於 $p$ 值小於0.05的HL子區域聚集（ $p = 0.04316$ ）。

由表15對LISA統計量分析呈現 $p$ 值  $\leq 0.00001$ 的16個HH、LL耐韌力聚集子區域的內容，加以比照表20中Gi\*統計量的結果可以發現，LISA與Gi\*二者在評估上是幾乎相同的，在地理區位上一樣反映了高耐韌力聚集於西部主要都會區以及低耐韌力聚集多位於山區與偏遠地區的城鄉差距。事實上此二統計量所評估具有顯著耐韌力聚集的子區域中，只有 $p \leq 0.05$ 的部分有不同：Gi\*統計量的顯著低耐韌力聚集是87個，在LISA統計量中LL耐韌力聚集是86個，兩者產生差異的子區域中心是

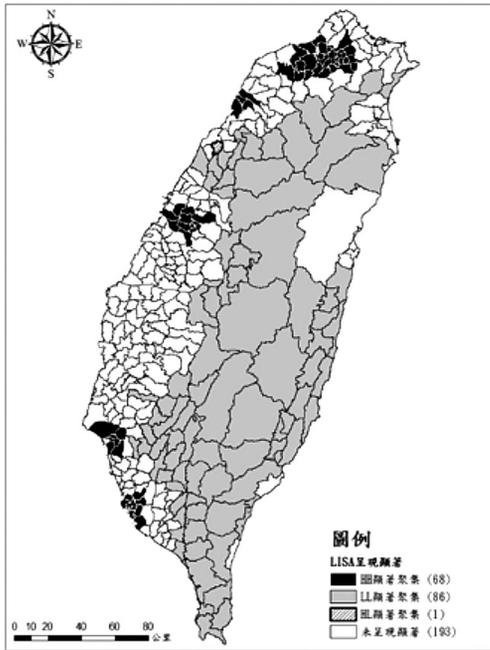


圖13 LISA統計量分析之顯著聚集分佈

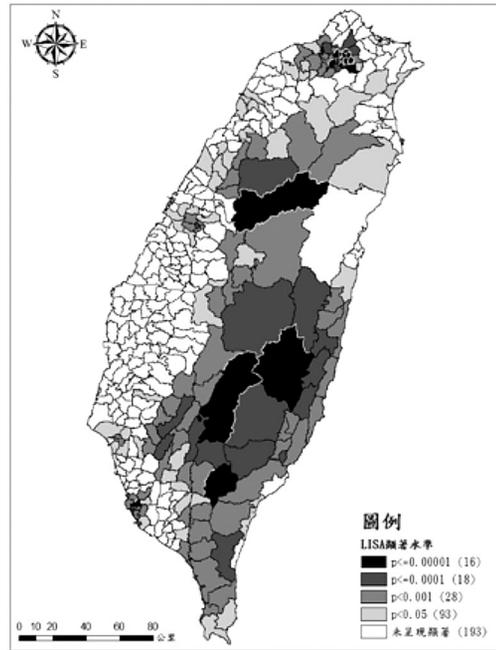


圖14 LISA統計量分析之不同程度顯著聚集

表14 LISA統計量不同顯著水準同質性與異質性耐韌力聚集子區域數量

聚集型態	類型	$p \leq 0.00001$	$0.00001 < p \leq 0.0001$	$0.0001 < p \leq 0.001$	$0.001 < p \leq 0.05$	所有 $p \leq 0.05$
同質性聚集	HH耐韌力聚集	12	5	6	45	68
	LL耐韌力聚集	4	13	22	47	86
異質性聚集	LH耐韌力聚集	0	0	0	0	0
	HL耐韌力聚集	0	0	0	1	1
合計		16	18	28	93	155

表15 LISA統計量分析p值<=0.00001之同質性韌力聚集子區域中心

HH韌力聚集子區域				LL韌力聚集子區域			
縣市	鄉鎮市區	韌力 評估分數	LISA值	縣市	鄉鎮市區	韌力 評估分數	LISA值
台北市	大安區	77.0768	8.4080	屏東縣	霧台鄉	13.4308	1.4328
台北市	中正區	69.5762	6.9795	台中市	和平區	13.4691	1.3570
台北市	中山區	69.7645	6.9676	花蓮縣	卓溪鄉	14.0813	1.3092
台北市	信義區	67.6137	6.2307	高雄市	桃源區	15.5255	1.2705
台北市	萬華區	67.5888	6.2248				
台北市	大同區	64.4998	5.9921				
台北市	松山區	64.8796	5.9458				
新北市	板橋區	68.0703	5.0648				
新北市	永和區	58.9342	4.9784				
新北市	三重區	65.4407	4.9740				
台北市	文山區	65.8927	3.9582				
高雄市	三民區	63.4451	3.0801				

苗栗縣苗栗市，此一子區域在LISA統計量的檢定也是顯著，但屬於HL的韌力子區域聚集。

關於Moran's I與LISA的分析結果可透過如圖15的Moran scatterplot再加以檢視，由圖中的分佈不難看出多數的子區域是落於同質性聚集之HH與LL的空間，屬於異質性聚集的HL與LH空間內之子區域數則相對較少，而此一結果也呼應了本研究的發現，亦即台灣本島各鄉鎮市區的韌力是以同質性的聚集為主。

## 五、結論與建議

本研究以文獻回顧與二手資料分析的方法，蒐集並整理國內外相關的理論與研究案例，對國內外針對“resilience”一詞的解釋、災害韌力的定義、韌力相關模式的探討、韌力指標的蒐集與整理、DANP之內容與相關應用與空間自相關分析之相關研究等作一分析，以利後續建立災害韌力評估指標與DANP、空間分析研究之進行確立其理論基礎。本研究的四個韌力評估構面與十二個指標，雖然是參考Joerin et al. (2014)、Cutter et al. (2010)、Chan et al. (2014) 以及曾敏惠與吳

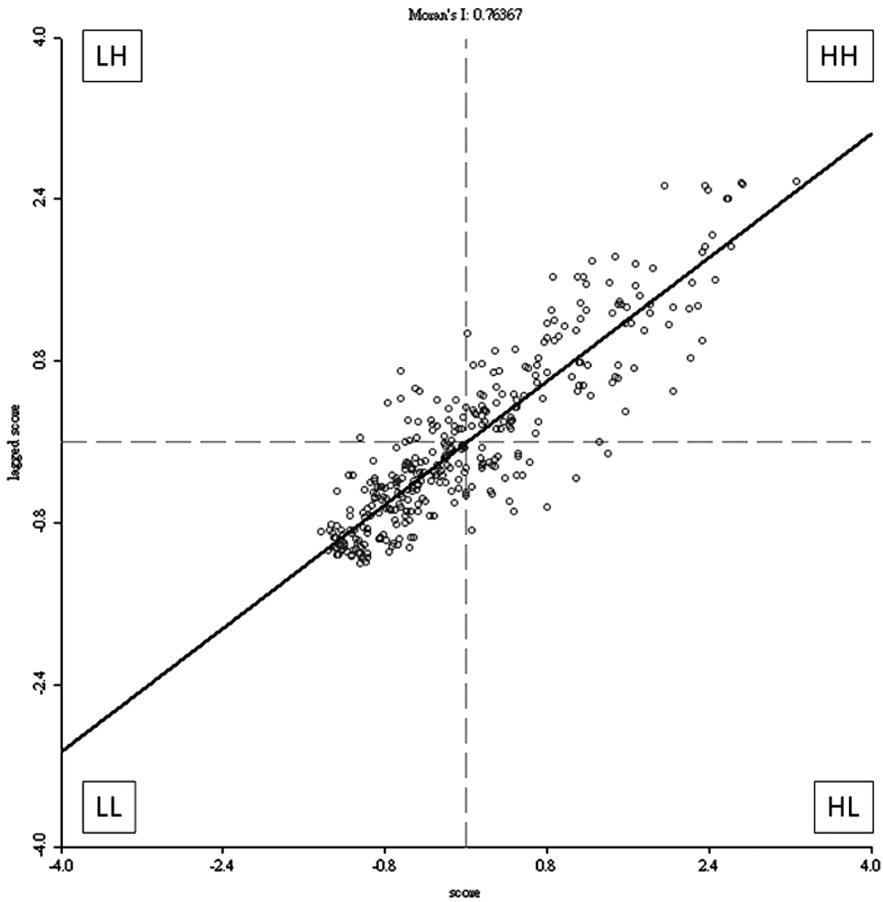


圖15 耐韌力評估子區域聚集之Moran scatterplot

杰穎（2014）的耐韌力因子，但仍以適用於鄉鎮市區耐韌力評估以及考量評估量測資料可以取得的構面與指標自行建立評估系統，以符合研究所需。於實證的部分採用專家問卷以及DEMATEL法，探究專家對災害耐韌力各構面和準則間相互影響關係的看法，就DEMATEL分析適合的指標與現有資料內容，針對此一架構中篩選出四個評估項目：「社會背景」、「經濟基礎」、「環境條件」、「應變能量」，每個項目之下各列出三個評估指標，共計十二個指標，此十二項指標可分為兩大類：統計資料與空間圖層；其中評估項目「社會背景」與「經濟基礎」的六項指標是以統計資料的格式為主，而屬於「環境條件」與「應變能量」的另六項指標則是以空間圖層的格式呈現。

一般在討論指標權重採用的AHP工具等，僅能提供指標或構面間相對的重要性，無法看出那些指標或構面是較具有影響力的，以及那些是與其他指標或構面有較高或相對獨立的關聯性，本研究採用的DANP法，是先經由DEMATEL分析以因子關聯分佈圖與因子所處象限分辨出各因子災害韌力之特性與其影響力、關聯性，探究各因子間的關係，也進一步分析四個評估項目的關聯分佈；之後藉由DEMATEL分析所得的關聯性矩陣，利用DANP法分析指標相互影響關係與影響成份或被影響成份，以確認各災害韌力之關聯性，再運用所產生的影響矩陣計算出各指標之影響權重。

由圖8以DEMATEL進行構面因子分析的關係上，包括「非自然災害潛勢」、「交通能力」與「都市計畫區」三項指標因子的「環境條件」是影響力強且關聯度較高的構面。另外，包含「緊急救援能量」、「醫療服務能量」與「避難收容能量」三項指標因子的「應變能量」雖然是影響力與關聯性較弱的構面，但構面中的三個指標因子由DANP分析而得的權重順序卻是位居第二、三、四的指標，重要性僅次於「政府預算」，由此可知DANP的權重分析即使是使用DEMATEL的總影響關係矩陣，其權重的分析結果未必與DEMATEL的影響力與關聯性有絕對的正向關係，亦即DANP與DEMATEL的分析內容是有所差異的，DEMATEL影響力與關聯性的強弱未必直接與DANP權重的高低有關，但採用DANP法確實可以經由DEMATEL的原因度與中心度指出各指標或構面的影響力、關聯性，DEMATEL矩陣則可提供後續計算ANP的權重，對於指標的內容能有更深入的瞭解。

由DANP分析專家的意見中，表9之DANP權重呈現出災害韌力評估最重要的是政府預算的狀況，其次是各類的災害應變能量，之後是災害保險、都市計畫區、交通能力、營利事業銷售額等與經濟及地方發展有關的指標，其中社會背景項目的指標與自然災害潛勢是權重相對較低者。由於各項指標變項的評估量測單位不同，有些是屬於統計數據等的聚合資料（aggregated data），另外也有部分指標變項是屬於面積比例的空間資料，因此本研究採取式1的公式將各變項的韌力評估分數加以標準化為0-100的區間，再以式2的公式計算並整合出各空間單元（鄉鎮市區）的整體韌力評估分數。各鄉鎮市區的韌力評估結果顯示，韌力較高者多是位於西部的北、中、南都會區，而韌力評估較低的鄉鎮市區，則多位於中央山脈的山區與東部地區，這也呼應了DANP權重中的結果：台灣偏遠地區與山區相對是政府預算較低與應變能量因幅員廣闊而稀釋無法集中的地區，加上地方發展、社會與經濟等均較為弱勢，因此造成對這些鄉鎮市區災害韌力的影響。

圖9提供了一個大致的耐韌力評估之空間分佈輪廓，為了要更進一步瞭解耐韌力空間分佈的聚集性，本研究採用了G統計量以及Moran統計量兩類空間統計量進行台灣本島各鄉鎮市區的災害耐韌力空間聚集性分析。空間聚集性統計在分析上，一般都要先行定義各空間單元的子區域以建立空間權重矩陣，其定義的方式多會採用“距離d”或是“鄰接空間單元”二種方式，前者由於台灣鄉鎮市區會因為城鄉差異造成面積大小有極大的不同，而產生各子區域內空間單元數有懸殊的差距，因此本研究是採鄰接空間單元的方式定義子區域，除了降低子區域內空間單元數量的變異外，每個子區域的人口數也會因空間單元數量相近而不會差異過大，降低此一因素對空間統計分析結果的影響。

由全域型（Global）空間統計量的結果，Global G\*統計量顯示台灣本島鄉鎮市區間的耐韌力是呈現顯著的“高耐韌力與高耐韌力”空間聚集，但檢視Local的Gi\*統計量，於95%信心水準下呈現顯著高耐韌力聚集的子區域有68個，呈現顯著低耐韌力聚集的子區域則有87個，表面上看來是與全域型的G\*統計量結果有所差異，但進一步檢視不同的p值顯著水準卻發現，Gi\*統計量分析中達到高顯著水準（ $p \leq 0.00001$ ）的高耐韌力聚集子區域有12個，遠高於低耐韌力聚集的4個子區域，因此有可能是其顯著的程度與高耐韌力聚集的趨勢影響了全域型G\*統計量的分析結果，而非是因為顯著聚集的子區域數量。

由圖13、圖14與表14可以於LISA的分析結果發現，顯著聚集的子區域是以同質性聚集為絕大多數，異質性的顯著聚集只有一個以苗栗縣苗栗市為中心的子區域，經由檢視圖15中Moran scatterplot的結果，印證了多數的子區域是屬於同質性聚集，代表台灣本島各鄉鎮市區的耐韌力是以同質性的HH與LL聚集為主。若對照LISA與Gi\*分析中呈現顯著的子區域，則可發現LISA統計量檢定呈現顯著的同質性聚集中，屬於HH與LL幾乎與Gi\*的結果是相同的，Gi\*分析結果只有呈現低耐韌力顯著聚集中的苗栗縣苗栗市與LISA的結果是不同的（Gi\*是低耐韌力顯著聚集，LISA卻是顯著的HL耐韌力聚集），但其p值僅達顯著水準 $\alpha = 0.05$ ，其中Gi\*統計量的p值為0.04314，而LISA統計量p值則為0.04316；因此在本研究中LISA分析的顯著同質性聚集子區域是大致與Gi\*統計量的分析結果相符的。

由空間聚集性分析的結果可發現，耐韌力評估分數最高的鄉鎮市區集中於北部都會化最集中的地區如台北市與新北市等；但耐韌力評估分數最低者則分佈在台南市、苗栗縣、宜蘭縣、屏東縣、花蓮縣中地理位置較為偏遠之所屬的鄉鎮市區。由DEMATEL分析中「環境條件」是影響力強且關聯度較高的構面，而就指標的分析上，「政府預算」、「緊急救援能量」、「醫療服務能量」與「避難收容能量」則

是DANP權重較高者。根據空間聚集分析所發現耐韌力相對較低的偏遠行政區，也呼應了DEMATEL中受到災害潛勢較高威脅的環境條件，可能造成耐韌力影響及與其他構面有較高的關聯度。本研究建議針對空間聚集呈現顯著之低耐韌力地區，能透過災害防救預算的支應，強化其在自然災害潛勢等「環境條件」的減災與資源的整備，於應變時的救援、緊急醫療與避難收容等也應就呈現顯著低脆弱度聚集子區域的鄉鎮市區，再行檢視其能量與周邊行政區「相互支援」的規劃，並做好「災前復原」（pre-recovery）之計畫，降低災時的人命傷亡與財產損失以及順利推動災後的復原重建工作。

## 參考文獻

- 王俊元，2012，計畫趕不上變化？風險因素對台灣地方政府策略管理影響之研究，東吳政治學報，第30卷，第3期，頁109-159。
- 內政部消防署，2016，0206地震災害應變處置報告第16報。
- 白仁德，2010，各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估研究 -- 以縣市空間為對象（II），國科會專題研究計畫成果報告。
- ，2015，歷年來高速公路系統沿線地區人口及產業空間分布變遷之研究，臺灣土地研究，第18卷，第2期，頁21-46。
- 朱蓓蕾，2012，美國緊急應變管理機制之改革：國土安全之概念分析，遠景基金會季刊，第13卷，第2期，頁47-97。
- 沈慶盈，2008，復原力與社會工作，應用心理研究，第39期，頁1-4。
- 李杰穎，2013，以混合多目標決策方法建立永續供應商評估模型，中原大學工業與系統工程學系碩士論文。
- 李欣輯、楊惠萱、廖楷民、蕭代基，2010，水災社會脆弱性指標之建立，建築與規劃學報，第10卷，第3期，頁163-182。
- 李宗義與林宗弘，2013，社會韌性與災後重建：汶川地震中的國家與地方社會，東亞研究，第44卷，第2期，頁1-38。
- 李香潔、李洋寧、楊惠萱、莊明仁，2013，老人福利機構水災撤離因應韌性分析，思與言，第51卷，第1期，頁187-219。
- 李堯賢與鄭國樑，2013，結合模糊理論、DANP及TOPSIS之多準則決策方法—以台灣生態旅遊景點選擇為例，育達科學報，第35期，頁31-56。

- 吳杰穎與黃昱翔，2011，颱風災害脆弱度評估指標之建立：以南投縣水里鄉為例，都市與計劃，第 38 卷，第 2 期，頁 195-218。
- 吳泓怡、張洧銘、周佳蓉，2006，應用決策實驗室分析法於運動休閒鞋消費者之購買決策關鍵評估因素分析，中華民國品質學會第 42 屆年會暨第 12 屆全國品質管理研討會論文集。台北：中華民國品質學會。
- 何明錦與李威儀，2000，都市計畫防災規劃手冊彙編，內政部建築研究所。
- 何明錦與洪鴻智，2007，都市防災空間系統手冊，內政部建築研究所。
- 何燦群與林峰田，2002，台灣人口聚集性動態分析，國土資訊系統通訊，第 41 期，（電子期刊無頁碼）。
- 林文苑，2011，「天然災害老人弱勢族群社經脆弱度評估指標」之建立與空間聚集性分析應用，都市與計劃，第 38 卷，第 3 期，頁 219-243。
- 周國村與袁建中，2014，應用決策實驗室分析法（DEMATEL）與網路層級分析法（ANP）在研發專案計畫評選，中山管理評論，第 22 卷，第 3 期，頁 543-572。
- 洪于婷與鄒克萬，2006，地方永續發展空間結構變遷之分析，都市與計劃，第 33 卷，第 4 期，頁 321-344。
- 洪啟東與曹名傑，2015，道德危害下的後京奧城市區域空間轉變及其脆弱性：以奧運中心區為例，都市與計劃，第 42 卷，第 3 期，頁 235-271。
- 洪啟東與彭淑媛，2011，博奕城市崛起後的都市社經脆弱度及其空間機能變遷：澳門經驗，都市與計劃，38 卷，第 4 期，頁 345-373。
- 洪啟東與傅玟盛，2013，重大災害後的族群社經脆弱現象觀察與分析：以莫拉克颱風災後重建的杉林慈濟大愛園區為例，災害防救科技與管理學刊，第 2 期，第 1 期，頁 51-70。
- 紀玉臨、周孟嫻、賴進貴，2012，臺灣區域所得探索式時空動態分析，1999-2008 年，地理學報，第 67 期，頁 1-30。
- 徐承毅與黃筱茹，2011，女性微型創業多評準決策之研究，東亞論壇季刊，第 472 期，頁 119-137。
- 陳以明、向佳君、楊皓博，2010，結合 DANP 之 MCDM 模型探討新產品開發過程品質關連性之研究，運籌與管理學刊，第 9 卷，第 1 期，頁 39-54。
- 陳志嘉，2007，臺灣在全球環境變遷下的脆弱性研究與發展，環境與世界，第 16 期，頁 47-71。
- 陳亭君、林耀盛、許文耀，2013，原住民與漢人族群的災變因應與心理適應關係探討：以莫拉克風災為例，中華心理衛生學刊，第 26 卷，第 2 期，頁 249-278。

林文苑：鄉鎮市區層級災害耐韌力指標關聯性與權重之DANP分析以及空間聚集性分析之應用

陳奕奇與劉子銘，2008，教育成就與城鄉差距：空間群聚之分析，人口學刊，第 37 期，頁 1-43。

張元璋、劉建浩、許清賢，2009，國軍飛行部隊之飛安影響關鍵因子，2009 航空產業創新發展學術研討會。

張學聖、陳姿伶、陳柏君，2013，台灣農地轉用與農地交易空間關聯性之研究，建築與規劃學報，第 14 卷，第 2 期 & 第 3 期，頁 167-182。

張麗珠，2009，災害復原力：建構一個防災社區，復興崗學報，第 96 期，頁 29-52。

馮正民、蔡育新、吳沛儒、李洋寧，2009，台灣國土空間結構方案之研擬與評估，都市與計劃，第 36 卷，第 3 期，頁 255-279。

黃松林、郭銀漢、楊秋燕、汪中華，2012，社區復原韌性與社會工作災害重建的關係，台灣社區工作與社區研究學刊，第 2 卷，第 1 期，頁 1-28。

曾明朗、黃榆茜、劉令儀、陳雯婷、林雨嫻，2009，應用模糊決策實驗室法分析台灣溫泉消費者之期望服務品質，2009 服務業行銷研討會論文集，台中：中興大學行銷學系。

曾敏惠與吳杰穎，2014，風險溝通與災害回復力關聯性之探究：以水患自主防災社區計畫為例，2014 台灣災害管理研討會。

鄒克萬，2000，區域人口分布之時空分析，台灣土地研究（原「台灣土地科學學報」），第 1 期，頁 33-50。

楊礎毓、吳杰穎、林文苑、陳瑞鈴，2010，都市洪災脆弱度因子之探究：應用決策實驗室分析法，2010 臺灣災害管理研討會論文集。台北：臺灣災害管理學會。

管孟忠、張紫雲、黃三麟，2010，結合 DANP 之 MCDM 模型探討公部門之專案執行關鍵成功因素－以文官制度與革規劃方案為例，運籌與管理學刊，第 9 卷，第 1 期，頁 1-19。

廖興中，2014，全球貪腐傳染之空間分析：以世界銀行貪腐控制指數為例，公共行政學報，第 46 期，頁 1-28。

廖興中與呂佩安，2013，臺灣縣市政府貪腐現象之空間自相關分析，臺灣民主季刊，第 10 卷，第 2 期，頁 39-72。

謝浩明與李冠頡，2011，應用新型多評準決策方法於生活通勤型自行車道系統評估改善之研究－以桃園縣為例，都市交通半年刊，第 26 卷，第 1 期，頁 24-38。

謝純瑩與周國屏，2002，應用空間自相關分析於人口老化時空變遷之研究，人口學刊，第 25 期，頁 91-119。

- 謝博明，2015，住宅次市場界定及住宅價格空間分析：以新升格之台南市為例，住宅學報，第 24 卷，第 1 期，頁 29-54。
- 劉建浩、葉怡廷、莊哲維，2012，混合模式於航空公司維修外包商選擇，運輸計劃季刊，第 41 卷，第 2 期，頁 135-164。
- 蔡素妙，2004，地震受創家庭復原力之研究—以九二一為例，中華人文社會學報，第 1 期，頁 122-145。
- 賴炳樹，2012，應用模糊德爾菲法於洪災調適策略規劃，土地經濟年刊，第 23 期，頁 73-93。
- 賴炳樹與白仁德，2012，因應氣候變遷之洪災調適策略規劃，災害防救科技與管理學刊，第 1 卷，第 1 期，頁 81-100。
- Andresen, M., 2011, Estimating the probability of local crime clusters: The impact of immediate spatial neighbors, *Journal of Criminal Justice*, 39(5), pp. 394-404.
- Anselin, L., 1989, *What is Special about Spatial Data? Alternative Perspectives on Spatial Data Analysis*, Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information & Analysis.
- , 1995, Local Indicators of Spatial Association-LISA, *Geographical Analysis*, 27(2), pp. 93-115.
- Bruneau, M., S. Chang, R. Eguchi, G. Lee, T. O'Rourke, A. Reinhorn, M. Shinozuka, K. Tierney, W. Wallace and D. von Winterfeldt, 2003, A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, *Earthquake Spectra*, 19(4), pp. 733-752.
- Buckle, P., 2006, Assessing social resilience, in D. Paton & D. Johnston. *Disaster Resilience: An Integrated Approach*, Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Bures, R. and W. Kanapaux, 2011, Historical regimes and social indicators of resilience in an urban system: the case of Charleston, South Carolina, *Ecology and Society*, 16(4), pp. 16.
- Caswell, J. M., 2016, Exploring spatial trends in Canadian incidence of hospitalization due to myocardial infarction with additional determinants of health, *Public Health(Elsevier)*, vol. 140, pp. 136-143
- Chan, S. L., W. M. Wey and P. H. Chang, 2014, Establishing disaster resilience indicators for Tan-sui river basin in Taiwan, *Social Indicators Research*, 115(1), pp. 387-418.
- Chang, K. T., 2016, *Introduction to Geographic Information Systems*, 8th ed., New York: McGraw-Hill.

- Chiu, W., G. Tzeng and H. Li, 2013, A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business, *Knowledge-Based Systems*, vol. 37, pp. 48-61.
- Cliff, A and J. Ord, 1973, *Spatial Autocorrelation*, London: Pion.
- Comfort, L., 1999, *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*, Amsterdam: Pergamon.
- Cutter, S., C. G. Burton and C. T. Emrich, 2010, Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions, *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, vol. 7, article\_51, <http://www.degruyter.com/view/j/jhsem.2010.7.1/jhsem.2010.7.1.1732/jhsem.2010.7.1.1732.xml>
- Emslie, C. and R. Mitchell, 2009, Are there gender differences in the geography of alcohol-related mortality in Scotland? an ecological study. *BMC Public Health*, 9(1), pp 58.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2012, *Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic Action in an Age of Uncertainty*, DC: FEMA.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency), 2014, *FEMA Strategic Plan 2014-2018*, DC: FEMA.
- Gallo, J. and C. Ertur, 2003, Exploratory spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980-1995, *Journal of Economics*, 82(2), pp. 175-201.
- Getis, A. and J. Ord, 1992, The analysis of spatial association by use of distance statistics, *Geographical Analysis*, vol. 24, pp. 189-206.
- , 1995, Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application, *Geographical Analysis*, vol. 27, pp. 286-306.
- Haddad, M. and Z. Nedović-Budić, 2006, Using spatial statistics to analyze intra-urban inequalities and public intervention in São Paulo, Brazil, *Journal of Human Development*, 7(1), pp. 85-109.
- Hiete, M., M. Merz, T. Comes and F. Schultmann, 2012, Trapezoidal fuzzy DEMATEL method to analyze and correct for relations between variables in a composite indicator for disaster resilience, *OR Spectrum*, vol. 34, pp. 971-995.
- Holling, C, 1973, Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 4: pp. 1-23.
- Joerin, J., R. Shaw, Y. Takeuchi and R. Krishnamurthy, 2014. The adoption of a climate disaster resilience index in Chennai, India., *Disasters*, 38(3), pp. 540-561.

- Mileti, D. S., 1999, *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Washington D. C.: Joseph Henry Press.
- Nassel, A., E. Root, J. Haukoos, K. McVane, C. Colwell, J. Robinson, B. Eigel, D. Magid and C. Sasson, 2014, Multiple cluster analysis for the identification of high-risk census tracts for out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) in Denver, Colorado, *Resuscitation*, 85(12), pp. 1667-1673.
- National Research Council, 2012, *Disaster Resilience: A National Imperative*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Norris, F. H., S. P. Stevens, B. Pfefferbaum, K. F. Wyche and R. L. Pfefferbaum, 2008, Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American Journal of Community Psychology*, 41(1-2), pp. 127-150.
- Orford, S., 2004, Identifying and comparing changes in the spatial concentrations of urban poverty and affluence: a case study of Inner London, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 28, pp. 701-717.
- Ou Yang, Y., H. Shieh, J. Leu and G. Tzeng, 2008, A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications, *International Journal of Operations Research*, 5(3), pp. 160-168.
- Peacock, W., 2009, *Advancing Coastal Community Resilience: A Brief Project Overview*, Resilience Research Workshop, Colorado: Broomfield.
- Pelling, M., 2003, *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*, London: Earthscan.
- Pimm, S. L., 1984, The complexity and stability of ecosystems, *Nature*, vol. 307, pp. 321-326.
- Resilience Alliance, 2007, *Urban Resilience: Research Prospectus*. [https://issuu.com/getresilient/docs/1172764197\\_urbanresilienceresearchprospectusv7feb0](https://issuu.com/getresilient/docs/1172764197_urbanresilienceresearchprospectusv7feb0), 2018.3.14.
- Saaty, T. L., 2008, The Analytic Network Process, *Iranian Journal of Operational Research*. 1(1), pp. 1-27.
- Sonn, C. and A. Fisher, 1998, Sense of community: Community resilient responses to oppression and change, *Journal of Community Psychology*. 26(5), pp. 457-472.

Szonyi, B., I. Srinath, M. Esteve-Gassent, B. Lupiani and R. Ivanek, 2015, Exploratory spatial analysis of Lyme disease in Texas -what can we learn from the reported cases?, BMC Public Health, 15(1), pp. 1-8.

Timmerman, P., 1981, Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climate Applications, Toronto: Institute for Environmental Studies, University of Toronto.

