

新竹市洪水災害社會脆弱性之研究

王立彬* 廖學誠**

THE SOCIAL VULNERABILITY OF URBAN FLOODING DISASTER IN HSINCHU CITY

LI-PIN WANG*, SHYUE-CHERNG LIAW**

摘 要

近年來，許多研究指出，社會人文條件對於災害具有重要影響，社會人文面向的災害研究也逐漸受到重視，脆弱性研究即是其中之一。脆弱性是指一地區面對災害時的體質，脆弱性越高，代表在面臨災害時，將有可能會造成較大的損失，因此，研究一地區的脆弱性可以說是災害風險評估中相當重要的一環。脆弱性可分為自然物理脆弱性與社會脆弱性兩種，本研究所要探討的便是社會脆弱性，意即在社會的各種條件下，社會對災害的潛在體質。透過評估指標的選定，配合統計資料的收集，便可有效計算出社會脆弱性。本文以新竹市作為範例，經由模糊德爾菲法與層級分析法，進行洪水災害社會脆弱性指標的選定及權重，並透過政府統計資料與問卷調查資料，計算出新竹市的社會脆弱性。研究結果得知，將敏感性、防災能力及調適能力三個構面的社會脆弱性分數合計後，以北區的整體社會脆弱性最高(0.4459)，其次為香山區(0.3346)，東區則最低(0.3261)。

關鍵詞：洪水災害、社會脆弱性、模糊德爾菲法、層級分析法

ABSTRACT

Recently, many researches report that the social and cultural conditions have a certain degree of influence on the disaster. As a result, disaster researches of social and human dimensions get more attention. Especially, vulnerability research is becoming an important issue. Vulnerability refers to the potential conditions of society, and the higher vulnerability

* 國立臺灣師範大學地理系碩士

** 國立臺灣師範大學地理系教授、通訊作者

of disaster also represents that disaster would cause greater losses. So, a study of vulnerability to disaster risk assessment can be a very important part. Generally, the vulnerability can be classified into two categories. One is social vulnerability, and the other is physical vulnerability. In this study, we focus on the social vulnerability, which means under a variety of social conditions, how those conditions affect the society when the hazards happened. Through the selected indicators, with the collection of statistical data, we can calculate the vulnerability scores effectively. In this paper, the Hsinchu City is chose as study area. Based on the fuzzy Delphi method and analytic hierarchy process (AHP), the indicators are selected and weighted, respectively. In addition, through the statistical data from different government agents and questionnaire survey for citizens, the social vulnerability for flooding disaster in the Hsinchu City is calculated. Results show that the scores of social vulnerability in the Northern District is highest (0.4459) when the three dimensions, including sensitivity, preventing disaster capacity, and adaptive capacity, summed together. The Siangshan District is following (0.3346), and the Eastern District is lowest (0.3261).

Key words: flooding disaster, social vulnerability, fuzzy Delphi method, analytic hierarchy process

一、前言

近年來，氣候變遷越來越受到重視，脆弱性的探討也隨之受到關注，聯合國「跨政府氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)」於 2014 年發表第五次氣候變遷評估報告(AR5)「影響、適應和脆弱性(Impacts, Adaption and Vulnerability)」中指出，現今人類處在氣候變遷的狀態下已屬事實，氣候變遷出現的極端氣象事件已經造成部份區域嚴重危害，範圍也擴及到大陸與海洋，包括整體降水系統的改變、冰川範圍的變化、動植物生態的變動等。台灣在全球氣候框架下亦受到氣候變遷所影響，降水的時空分佈已產生明顯變化，雖然年總雨量沒有明顯增加或減少的變化，但年降雨日數卻有顯著的下降趨勢(中央氣象局，2017)。降水時間逐漸縮短，降水強度則漸漸增強，尤其是極端降水機率上升，使得台灣在災害防救工作上面臨更大的挑戰。

災害研究不只關注大氣現象或致災因素，也關心在這災害背景下的人們，因此，災害調適行為、風險管理等相關研究日益蓬勃，尤其是 1990 年代起，國際間開始將災害研究的重點從衝擊損失漸漸轉移到脆弱性研究(林冠慧，2004；林冠慧、張長義，2015)。脆弱性是一種體質，是社會各種結構、性質、狀態、氛圍等因素共同形塑的結果，而這樣的體質在面對災害時，就會有不同的反應與敏感性，甚至會影響到災損結果。有鑑於此，脆弱性在災害研究上具有重要地位，被列為 IPCC 第五次評估報告中的重要概念之一。隨著國外的研究趨勢，近年台灣也開始從事脆弱性研究，包括指標的建構及評估，並從自然物理、人文社會的角度進行分析(郭彥廉、蕭代基，2009；李堅明、陳建智，2010)。在探討對象方面，以鄉村地區的土石流坡地災害(陳志嘉，2011；李欣

輯、楊蕙瑄，2012)及洪害(吳杰穎、黃昱翔，2011)居多，至於都會地區的颱風洪水患則較少，非常需要加強深入分析。

本研究以新竹市的洪水災害脆弱性為例，從社會面向觀點出發，透過模糊德爾菲法(fuzzy Delphi method)，建構都市洪水社會脆弱性指標之架構，並經由層級分析法(analytic hierarchy process, AHP)計算各指標之權重，比較新竹市各區脆弱性之高低，期能提供防救災決策單位之參考。

二、文獻回顧

(一)脆弱性意涵

氣候變遷的影響程度，跟當地的自然環境與人文結構息息相關，人類的社會、經濟、文化、政治、產業等，都會影響到面對氣候變遷時的脆弱性(IPCC, 2014)。根據IPCC(2014)的定義，脆弱性是一種會導致不利結果的傾向或體質。Cutter et al. (2003)也指出，脆弱性是在面對災害時的潛在可能損失。另外，國內學者郭彥廉、蕭代基(2009)也曾定義脆弱性是：(1)一種災害發生前，既存的社會、自然條件；(2)一種面對災害的調適與應變能力；(3)一種因地而異的潛在受災因子。然而，這樣的潛在性並不是固定的，而是隨著一個地區時空的演變而產生不同的變化。脆弱性的構成要素包含暴露(exposure)、敏感性(sensitivity)、以及調適能力(adaptive capacity)(Smit and Wandel, 2006)。

「暴露」是指社會單位接近災害、特定擾動或壓力的程度；「敏感性」則指社會單位在災害發生時，所受的影響程度；「調適能力」則是指社會單位在面對各種衝擊或災害時，從中恢復與對抗的能力(陳志嘉，2011；Adger, 2006)。暴露與敏感性是被普遍採用的要素，至於調適能力有時則被視為回復力(resilience)(郭彥廉、蕭代基，2009)。

脆弱性可再細分為自然脆弱性及社會脆弱性。自然脆弱性著重於災害與環境的本身，而不是社會、制度或文化的探討(Papathoma-Köhle et al., 2011)。在氣候變遷日漸受到關注下，自然脆弱性更成為災害研究的重點，並且與風險研究有相當關聯(Brody et al., 2008)。自然脆弱性是天然災害的破壞與環境本身相互影響的結果，環境或災害所造成的可能損失程度(Uzielli et al., 2008)。由於災害有可能會加劇環境的脆弱性(Kappes et al., 2012)，因此，自然脆弱性應是一種動態的指標，會隨著環境變遷而變動。另外，災害是一個自然或人為事件，會對人類造成生命財產損失(IPCC, 2014)。所以災害是離不開人的，脆弱性研究也應當與人有所連結(Adger, 2006)。至於社會脆弱性方面，是指群體或個人受到社會所產生的某些因子，而造成其在災害中容易受災的程度、適應災害、以及從災害中恢復的能力(Cutter, 2006)。依據 Cannon et al. (2003)的研究，社會脆弱性的因子，應該含有以下特徵：(1)基礎健康：包含營養、生理與心理健康、士氣等；(2)生計與恢復能力：有能力擔保安全的程度、建造安全居所與選擇安全居住地的能力；

(3)社會保護：社會是否提供充足且全面的災害準備，如建築重建、減災辦法、避難所、備災等；(4)社會與政治網絡與制度：包含社會資本、制度環境能提供良好的災害預防、人民表達需求與事前準備的權利等。社會脆弱性衡量之所以會以較困難，就是肇因於社會組成的元素眾多，對人們產生影響的原因也各不相同，某一指標在一個地方或許適合，但在另一個地方可能就無法顯示出其效果(Adger, 1999; Cutter, 2006)。

(二)脆弱性研究發展

脆弱性研究之所以急切，是因為關係到弱勢或貧窮人口在氣候變遷所造成的災害下，其生活與生計的保障與安全；隨著極端災害發生，人們所擁有的資產就越可能受到傷害，脆弱性也就相對增高，因此，我們不得不重視脆弱性的研究(IPCC, 2014)。早期脆弱性研究注重於災害本身，主要探討災害的發生頻率、影響規模及其造成的後續效應與衝擊。由於將自然部份與社會部份的研究切割得很清楚，以至過於偏頗，因此，後來結合社會與自然因素的社會生態(social-ecological)取徑日益蓬勃發展，這種結合自然與人文的研究更加注重人地關係，並進一步探討環境變遷下的脆弱性(Adger, 2006)。

雖然在早期的脆弱性研究中，社會生態的取徑已經出現，但極少關注社會系統與自然系統的耦合。晚近，脆弱性才漸漸地被當作社會系統與環境系統共同作用下的結果(O' Brien et al., 2004)。Turner II (2003)將這樣共同的結果系統化稱之為耦合的人與環境系統(coupled human-environmental system)，或稱為社會 - 生態系統(social-ecological system)，其研究主要探討社會、經濟、政治等人文條件加上環境條件的因素如何影響脆弱性。如 IPCC 的研究常採用如此模式，利用氣候變遷的模擬推估，評估人類與環境的可能互動狀況，或利用政治社會的角度，探討個人在受災承受力的不同。這樣的研究通常討論暴露量、敏感度、調適能力，並連結各個空間尺度，如地方、國家甚至是全球。這樣的整合研究，將社會與環境的動態關係系統化，可作為衡量脆弱性的架構，其內容相當豐富，研究方法也非常多元，取決於不同的空間尺度與研究對象的交互作用而定(Cutter et al., 2003)。因此，現今脆弱性研究可說是一種多元的整合研究。

(三)脆弱性評估方式

Cutter et al. (2003)針對美國進行社會脆弱性分析，以文獻回顧方式，整理出前人所使用之脆弱性指標，總共約搜集了 250 個，經過多重共線性分析後，篩選出 85 個，再經過常態化等分析，篩選出 42 個脆弱性指標。隨著全球尺度與國家尺度的脆弱性指標與災害風險研究紛紛建立後，人們逐漸意識到災害管理隨著尺度而不同，無法以單一尺度進行，必須進一步由下而上進行災害管理，因此，以社區為基本的災害風險管理開始出現(Bollin and Hidajat, 2006)，其中評估社區脆弱性也是其重要的研究項目之一。Anderson-Berry and King (2005)指出，社區脆弱性是由社區、個人、社會三個面向所構

成，其中個人的面向即包含年齡、性別、種族、教育程度、災害教育、災害經驗、災害鄰近程度等。另外，Birkmann (2006)也認為，地方尺度的脆弱性評估架構應該包含人口、經濟、社會與恢復能力等部份。

在國內方面，李堅明、陳建智(2010)進行台灣脆弱性指標建構之研究，利用文獻回顧將國內外對於脆弱性的各個指標予以統整，再經過單根檢定與共整合檢定後，得出脆弱性指標架構分類表，指標整理完成後再進行耦合性分析，得到指標參數。吳杰穎、江宜錦(2008)則以專家問卷的德爾菲法進行指標建構，探討社會脆弱性。吳杰穎、黃昱翔(2011)針對鄉鎮市層級的脆弱性進行研究，透過德爾菲法專家問卷評定出相關指標後，再以層級分析法進行指標的權重計算。陳志嘉(2011)除了採用上述方法外，也加入居民災害識覺研究，透過深度的質性訪談收集資料。由於災害識覺對於災害研究的重要性日益提升，居民的災害識覺也成為社區災害管理極脆弱性分析的關鍵要項。

三、研究方法

(一)研究區域

本研究選擇新竹市作為都市洪災社會脆弱性指標評估之對象，主要原因是本區域為高科技重鎮，若災害發生所造成的經濟損失相當巨大，在災害防救上不應忽略。新竹市面積 104 平方公里，行政區域分為北區、東區、香山區(圖 1)。

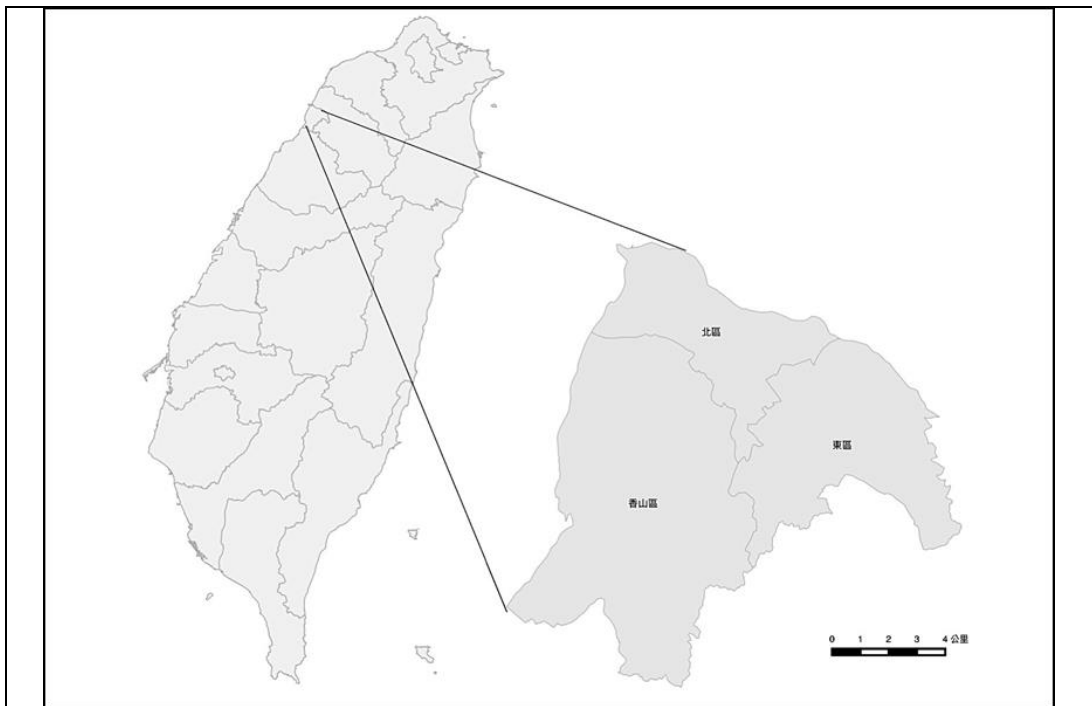


圖 1 研究區域位置圖

本區主要河川為頭前溪，區域內小型溪流、溝渠、湖泊分佈甚多，除頭前溪出海口側平坦開闊外，其餘三面環山，市區內地勢低平，部份排水設施不良，致使低窪地區成為容易淹水之區域。1996年賀伯颱風，夾帶巨量降雨，造成區域內南寮、舊港、中寮、港北、港南、康樂等六里地區嚴重積水。1997年溫妮颱風，雖然時雨量只有106mm，卻因市區排水不良，造成舊港里及台一省道嚴重積水。2001年納莉颱風，曾造成頭前溪、客雅溪河口海水倒灌，河水溢堤，舊港里區域大面積淹水，造成當地極大的災害損失。2004年艾莉颱風，造成南寮地區淹水近一層樓高，多所學校校舍毀壞，損失慘重。2005年512水災，造成新竹科學園區及市區多條路段淹水，水淹及膝。2012年蘇拉颱風，亦造成新竹客雅溪口的淹水災情。根據經濟部水利署水利規劃試驗所「新竹縣、新竹市及苗栗縣淹水潛勢圖第二次更新計畫」(張倉榮等，2015)報告中指出，當地的淹水狀況，除了考慮降雨強度及延時外，區域內的河川、都市規劃設計排水、雨水下水道系統、防洪設施(抽水站及滯洪池等)、重要跨河構造物、海岸越波量等，均會影響到淹水的深度及範圍。從過去曾發生的洪災事件中得知，新竹市具有相當高的洪災風險，非常需要多加關注。

(二)研究方法

1. 模糊德爾菲法

本研究採用模糊德爾菲法來選取社會脆弱性指標。模糊德爾菲法是幫助群體決策提升效率的一種技術，也是一種透過群體協商，並經歷反覆的過程，以達到群體內部意見一致性的研究方法。模糊德爾菲法廣泛應用於現今有關災害方面之研究，例如氣候變下洪水的風險評估(Jun et al., 2013)、颱風及地震評估模式及預測之探討(Kou et al., 2014)，此外，也應用於景觀決策的研究(林佩瑩、廖學誠，2008)、以及脆弱性之分析(吳杰穎、江宜錦，2008；陳志嘉，2011)等。

模糊德爾菲法採用專家問卷方式，本研究選取熟悉當地環境、具備豐富在地經驗，並擁有專業能力之專家，共計15位，並區分為專家學者(含災害防救、環境生態、人文地理)、政府部門(含新竹市消防局、區公所職員)、社區居民(含市民代表、當地商業人士)三組，每組各5人。問卷評分值由0至10分，代表專家對該指標的權重值，分數越高代表越重要，反之則越不重要。問卷為半開放式，除了本研究經文獻探討後所選取的指標外，專家也可以建議增加新的指標問項。本研究進行兩次模糊德爾菲法問卷，將第一次問卷所得出的各指標平均值告知專家成員後，再實施第二次問卷，並以K-W檢定(Kruskal-Wallis Test)計算專家組別間的一致性。

2. 層級分析法(AHP)

本研究採用層級分析法來計算社會脆弱性指標之權重。層級分析法為1971年匹茲堡大學教授Thomas L. Saaty所發展的一套決策系統，主要應用於不確定情況下及具有

多個評估準則的決策問題方面。AHP 可以將各個有關連因素間的複雜關係做有系統地連結，以兩兩成對比較的方式，有效減少決策者的負擔，使決策方向可以更明確，另外，透過集體決策還可以將專家的意見加以分層整理，增加評估的有效性與可信性(陳進成等，2004)。AHP 已被普遍應用於許多研究領域，例如分析由洪水所造成健康風險的關鍵因素(Abbas and Routray, 2014)、探討都市社區雨水回收區域之選擇(Akter and Ahmed, 2015)、河川環境教育發展現況分析與策略規劃(林美慧、廖學誠，2008)等。

AHP 具有階層的特性，將各個指標依照類別，分別放入各個階層當中。其操作方法亦是利用專家小組，以類別尺度(nominal scale)方式，給予指標與指標間的相對權重比較(pairwise)，並將結果量化後，建立對偶比較矩陣(pairwise comparison matrix)，求取特徵向量(eigenvector)，代表階層元素的一致性強弱，再將其作為決策取捨或再評估的指標(Khalil, 2002)。由於判斷層級與因素眾多，使得決策者在兩兩比較判斷下，有時無法達到一致性，因此，AHP 需對該數值進行一致性檢定，若未達到一致性時，可採用修正方法進行修正(簡富禎，2005)。AHP 亦是採用專家問卷方式，本研究所選取的專家與模糊德爾菲法專家相同，共計 15 位，並區分為專家學者、政府部門、社區居民三組，每組各 5 人。

3. 指標統計分析

本研究參考吳杰穎、黃昱翔(2011)建立颱風災害脆弱度評估指標方式，先將各指標數值標準化(standardization)，去除各指標不同單位之影響，使各指標得以互相比較，之後再將標準化後之數值再次進行正規化(normalization)，將數值轉換成 0 至 1 之間，使各指標數值最大為 1，最小為 0，最後再針對各指標之層級進行加權計算，求得各層級各指標之評估值。

4. 問卷調查

本問卷乃針對完全無統計資料可應用之評估指標進行設計，包括「居民參與演習人數」、「受災經驗」、「對水災的認知」、「尋求外界協助」、「災前的準備」、「社區或家中撤離配置」等面向，另外，還有受訪者的基本屬性，共計 18 個問項。本研究共計問卷 400 份，有效問卷 378 份，有效率為 94.5%。

四、結果與討論

(一) 指標選取

本研究經過文獻整理，考量研究區特性後，採用 Anderson-Berry and King (2005)所提出的社區型脆弱性模式作為基礎，並參酌 Cutter et al. (2003)、吳杰穎、江宜錦(2008)、陳志嘉(2011)等人的相關研究，擬定本研究社會脆弱性指標問卷項目，包括敏感性、防災能力及調適能力三大構面，如表 1、表 2 及表 3 所示。

1. 敏感性構面

首先，在敏感性構面部份，可再細分人口特性、社經條件及政策環境三個評估項目，其下共有 16 個評估指標。經過第一次模糊德爾菲法專家問卷後，結果如表 1 所示。評估指標中以獨居老人人口分數最高(8.28)，其次為身心障礙人口(8.02)，再其次為救災資源的分配(7.58)。在第一次模糊德爾菲法專家問卷時，有專家建議應該增列部份評估指標，因此，本研究在進行第二次模糊德爾菲法專家問卷時，將新增的 5 個評估指標加入，共計 21 個評估指標，除了告知專家第一次評分結果及新增指標說明外，並請專家再次評分，結果如表 1 所示。在第二次評分中，以新增加的防災社區推動評估指標分數最高(8.53)，其次為身心障礙人口(8.40)，再其次為獨居老人人口(8.23)。由於部份指標分數偏低，專家認為重要性不高，因此，本研究以評分 6 分作為門檻值，低於 6 分之指標將被刪除，共計 9 個。另外，本研究以 K-W 檢定計算專家學者、政府部門、社區居民三組別間的一致性，其中有 3 個指標雖然分數高於 6 分，但檢定值達到顯著差異($\alpha < 0.05$)，表示專家組別間看法不一致，因此，本研究也一併刪除。經由兩次的模糊德爾菲法專家問卷，並配合門檻值的篩選及 K-W 檢定的一致性分析後，在敏感性構面中總共選取出 9 個評估指標，包括老年人口、幼年人口、身心障礙人口、獨居老人人口、中低收入戶人口、防救災預算、防救災人員數量、救災資源的分配、防災社區推動(表 1)。

表 1 敏感性構面模糊德爾菲法分析結果

評估構面	評估項目	評估指標	第一次	第二次	顯著性	刪除項
敏感性	人口特性	老年人口	7.10	7.30	0.469	-
		幼年人口	6.90	6.96	0.727	-
		人口分布	6.72	6.81	0.038*	v
		性別比	4.76	4.19	0.962	v
		教育程度	4.90	4.22	0.631	v
		種族人口	4.34	3.67	0.562	v
		外籍人口	-	5.69	0.869	v
		人口密度	-	4.68	0.073	v

評估構面	評估項目	評估指標	第一次	第二次	顯著性	刪除項
	社經條件	身心障礙人口	8.02	8.40	0.548	-
		獨居老人人口	8.28	8.23	0.418	-
		單親家庭	5.80	5.58	0.285	v
		中低收入戶人口	6.01	6.28	0.225	-
		失業率	4.55	4.19	0.852	v
		產業型態	4.92	4.63	0.842	v
		家戶所得	4.92	4.67	0.450	v
	政策環境	防救災預算	7.56	7.91	0.581	-
		防救災人員數量	7.60	7.84	0.074	-
		救災資源的分配	7.58	7.72	0.210	-
		防災社區推動	-	8.53	0.747	-
		水道設施維修狀況	-	6.85	0.016*	v
		都市水道建置狀況	-	7.33	0.025*	v

*：達到顯著差異($\alpha < 0.05$)。

2. 防災能力構面

其次，在防災能力構面部份，可再細分防災資源、防災設施及防災演練三個評估項目，其下共有 11 個評估指標。經過第一次模糊德爾菲法專家問卷後，結果如表 2 所示。評估指標中以設有警戒通報系統分數最高(7.76)，其次為緊急避難場所的設置(7.63)，再其次為社區自救組織(7.38)。第二次模糊德爾菲法專家問卷時，增加專家建議 1 個新的評估指標，共計 12 個評估指標。在第二次評分中，各指標的分數普遍升高，其中以社區自救組織分數最高(7.77)，其次為設有警戒通報系統(7.75)，再其次為擁有相關防災設施(7.73)，其他指標的分數也都高於 6 分門檻值。本研究再以 K-W 檢定計算不同組別間的一致性，其中有 3 個指標雖然分數高於 6 分，但檢定值達到顯著差異($\alpha < 0.05$)及極顯著差異($\alpha < 0.01$)，專家組別間對指標重要性看法不一致，因此，本研究也一併刪除。在防災能力構面中總共選取出 9 個評估指標，包括獲得災害資訊、避難物資的預備、社區自救組織、防災教育實施、擁有相關防災設施、設有警戒通報系統、設有廣播系統、居民參與演習人數、疏散撤離作業規劃(表 2)。

表 2 防災能力構面模糊德爾菲法分析結果

評估構面	評估項目	評估指標	第一次	第二次	顯著性	刪除項
防災能力	防災資源	獲得災害資訊	7.30	7.66	0.181	-
		避難物資的預備	6.90	6.90	0.420	-
		社區自救組織	7.38	7.77	0.364	-
		防災教育實施	7.15	7.43	0.224	-
	防災設施	擁有相關防災設施	6.89	7.73	0.297	-
		設有警戒通報系統	7.76	7.75	0.303	-
		設有廣播系統	6.65	7.13	0.132	-
		緊急避難場所的設置	7.63	7.53	0.009**	v
	防災演練	規劃逃生疏散路線	6.22	7.07	0.014*	v

評估構面	評估項目	評估指標	第一次	第二次	顯著性	刪除項
		居民參與演習人數	6.38	6.69	0.227	-
		居民參與演習意願	5.96	6.60	0.050*	v
		疏散撤離作業規劃	-	6.72	0.268	-

*：達到顯著差異($\alpha < 0.05$)；**：達到非常顯著差異($\alpha < 0.01$)。

3. 調適能力構面

最後，在調適能力構面部份，可再細分災害識覺及調適行為兩個評估項目，其下共有 6 個評估指標。經過第一次模糊德爾菲法專家問卷後，結果如表 3 所示。評估指標中以受災經驗分數最高(7.47)，其次為社區家中撤離配置(7.39)，再其次為災前的準備(7.22)。第二次模糊德爾菲法專家問卷時，增加專家建議 1 個新的評估指標，在第二次評分中，各指標的分數也普遍升高，其中仍是以受災經驗分數最高(7.54)，其次為社區家中撤離配置(7.49)以及災前的準備(7.49)，其他指標的分數也都高於 6 分門檻值。本研究再以 K-W 檢定計算不同組別間的一致性，結果顯示專家組別間對指標重要性看法一致，沒有顯著差異。在調適能力構面中總共選取出 7 個評估指標，包括受災經驗、災害頻率、對水災的認知、尋求外界協助、災前的準備、社區家中撤離配置、申請災害補助(表 3)。

表 3 調適能力構面模糊德爾菲法分析結果

評估構面	評估項目	評估指標	第一次	第二次	顯著性	刪除項
調適能力	災害識覺	受災經驗	7.47	7.54	0.928	-
		災害頻率	6.84	6.98	0.801	-
		對水災的認知	6.92	7.26	0.064	-
	調適行為	尋求外界協助	7.07	7.24	0.517	-
		災前的準備	7.22	7.49	0.792	-
		社區家中撤離配置	7.39	7.49	0.165	-
		申請災害補助	-	7.30	0.705	-

(二) 指標權重

經過第一次及第二次模糊德爾菲法專家問卷，並配合門檻值及 K-W 檢定後，本研究共篩選出 25 個評估指標，包括敏感性構面 9 個指標，防災能力構面 9 個指標，以及調適能力構面 7 個指標，之後再請相同的 15 位專家進行層級分析法問卷，針對評估指標進行權重計算，結果如表 4 所示。另外，透過一致性指標檢驗，所有專家問卷均已達到一致性($CI \leq 0.1$)，結果如表 5 所示。

在表 4 中，評估構面部份以防災能力權重值最高(0.549)，其次為調適能力(0.267)，再其次為敏感性(0.184)，顯示出專家們最注重當地的防災能力。另外，在評估項目部份，敏感性構面中以政策環境權重值最高(0.526)，防災能力構面中以防災設施權重值最高

(0.439)，調適能力構面中以災害識覺權重值最高(0.567)。此外，在評估指標部份，人口特性項目中以幼年人口權重值最高(0.532)，社經條件項目中以獨居老人人口最高(0.423)，政策環境項目中以防災社區推動最高(0.370)，防災資源項目中以社區自救組織最高(0.391)，防災設施項目中以設有警戒通報系統最高(0.407)，防災演練項目中以疏散撤離作業規劃最高(0.551)，災害識覺項目中以災害頻率最高(0.391)，調適行為項目中以社區家中撤離配置最高(0.350)。整體而言，將構面權重、項目權重及指標權重相乘後，25 個評估指標中以設有警戒通報系統的權重值最高(0.0981)，其次分別為疏散撤離作業規劃(0.0926)、擁有相關防災設施(0.0901)、居民參與演習人數(0.0754)、以及災害頻率(0.0592)等。

表 4 社會脆弱性層級分析法權重計算結果

構面權重(a)	項目權重(b)	指標權重(c)	整體權重(axbxc)
敏感性(0.184)	人口特性(0.169)	老年人口(0.468)	0.0146
		幼年人口(0.532)	0.0165
	社經條件(0.305)	身心障礙人口(0.420)	0.0236
		獨居老人人口(0.423)	0.0237
		中低收入戶人口(0.157)	0.0088
	政策環境(0.526)	防救災預算(0.184)	0.0178
		防救災人員數量(0.198)	0.0191
		救災資源的分配(0.248)	0.0275
		防災社區推動(0.370)	0.0358
	防災能力(0.549)	防災資源(0.255)	獲得災害資訊(0.108)
避難物資的預備(0.189)			0.0265
社區自救組織(0.391)			0.0547
防災教育實施(0.313)			0.0438
防災設施(0.439)		擁有相關防災設施(0.374)	0.0901
		設有警戒通報系統(0.407)	0.0981
		設有廣播系統(0.219)	0.0528
防災演練(0.306)		居民參與演習人數(0.449)	0.0754
	疏散撤離作業規劃(0.551)	0.0926	
調適能力(0.267)	災害識覺(0.567)	受災經驗(0.354)	0.0536
		災害頻率(0.391)	0.0592
		對水災的認知(0.255)	0.0386
	調適行為(0.433)	尋求外界協助(0.175)	0.0202
		災前的準備(0.189)	0.0219
		社區家中撤離配置(0.350)	0.0405
		申請災害補助(0.286)	0.0331

表 5 全部專家一致性分析結果

層級	項目	最大特徵值	一致性指標	一致性比率
		λ max	CI	CR
第一層	整體	3.021	0.011	0.021
第二層	敏感性	3.018	0.009	0.016

層級	項目	最大特徵值	一致性指標	一致性比率
		λ max	CI	CR
	防災能力	3.020	0.010	0.017
	適應能力	2.000	0.000	0.000
第三層	人口特性	2.000	0.000	0.000
	社經條件	3.039	0.020	0.034
	政策環境	4.124	0.041	0.046
	防災資源	4.085	0.028	0.032
	防災設施	3.023	0.011	0.020
	防災演練	2.000	0.000	0.000
	災害識覺	3.021	0.010	0.018
	調適行為	4.112	0.037	0.042

(三) 指標資料收集

本研究進行新竹市社會脆弱性評估指標數值計算時，主要是參考相關單位的統計資料，以及透過問卷調查收集資料，指標定義及說明與資料來源詳如表 6 所示。本研究採用的統計資料主要有新竹市統計年報、區公所統計資料(含北區、東區及香山區)、新竹市消防統計年報，另外，還有中央衛生福利部統計處、經濟部水利署相關統計資料，還有從網頁上所收集到的統計資料。由於部份評估指標無法從統計資料中得知數值，因此，本研究另行採用問卷調查方式進行資料收集。問卷共計 400 份，有效問卷 378 份。性別方面，男性受訪者佔 33.8%，女性受訪者佔 66.2%。年齡層方面，以 31-40 歲青壯年居多，佔 34.2%，其次為 21-30 歲青年，佔 31.1%。居住地方面，以新竹市東區受訪者最多，佔 48.2%，其次為北區受訪者，佔 36.4%，最後為香山區受訪者，佔 15.4%，此比率與新竹市人口分佈相近。民國 103 年度新竹市總人口為 431,988 人，其中北區佔 34.4%，東區佔 47.9%，香山區佔 17.7%。

在脆弱性指標當中，有的指標會增加地區的脆弱性，指標數值越高脆弱性越大，稱之為正向，相反地，有些指標則會降低地區脆弱性，指標數值越高脆弱性越小，稱之為負向，負向指標必須經過轉換計算，將 1 減去負向指標的正規化數值(吳杰穎、黃昱翔、2011)。本研究 25 個評估指標中，正向指標共有 6 個(表 6)，包括老年人口、幼年人口、身心障礙人口、獨居老人人口、中低收入戶人口及災害頻率，數值越高越脆弱，另外 19 個指標則為負向，有利於降低脆弱性。

表 6 本研究評估指標定義及說明與資料來源

評估指標	正/負向	指標定義及說明	資料來源
老年人口	+	戶籍登記實足年齡為 65 歲以上人口數	新竹市統計年報
幼年人口	+	戶籍登記實足年齡未滿 15 歲人口數	新竹市統計年報
身心障礙人口	+	新竹市市民領有身心障礙手冊之人口數	新竹市統計年報
獨居老人人口	+	政府社會福利單位列冊之獨居老人人口	衛生福利部統計處

評估指標	正/負向	指標定義及說明	資料來源
中低收入戶人口	+	包含中低收入以及低收入戶人口	新竹市統計年報
防救災預算	-	區公所年度預算	區公所統計資料
防救災人員數量	-	區公所人員加上正職消防人員	區公所統計資料、新竹市消防統計年報
救災資源的分配	-	消防單位中與水災救災相關之救災設備(如橡皮艇、救生艇、潛水設備等)	新竹市消防統計年報
防災社區推動	-	新竹市政府公布之防災示範社區數	新竹市消防局網頁
獲得災害資訊	-	政府提供災害相關訊息	新竹市防災教育網、區公所網頁
避難物資的預備	-	當地民眾可取得資源之超商店家數	新竹市超商統計資料
社區自救組織	-	新竹市政府公布之社區守望相助隊數量	新竹市統計年報
防災教育實施	-	舉辦防災教育相關課程	新竹市消防局網頁
擁有相關防災設施	-	各區之抽水機數量	經濟部水利署
設有警戒通報系統	-	各區警戒通報系統	經濟部水利署
設有廣播系統	-	各里設有廣播系統	新竹市災害應變中心
居民參與演習人數	-	曾經參與演習人數	問卷調查
疏散撤離作業規劃	-	區公所規劃疏散撤離路線	區公所網頁
受災經驗	-	曾經遭遇過水災經驗人數	問卷調查
災害頻率	+	新竹市政府公布之歷年水災資料	新竹市災害防救深耕計畫
對水災的認知	-	瞭解水災發生的基本知識	問卷調查
尋求外界協助	-	瞭解水災發生可以尋求外界協助的管道	問卷調查
災前的準備	-	瞭解水災發生前的防災準備工作	問卷調查
社區家中撤離配置	-	瞭解社區或住家發生水災時的撤離配置	問卷調查
申請災害補助	-	新竹市政府辦理災後補助	新竹市防災教育網

(四)社會脆弱性計算

本研究評估指標先經由標準化後再進行正規化，並將數值乘以權重後，其指標脆弱性分數如表 7 所示。

表 7 評估指標正規化數值及脆弱性分數

評估指標	指標正規化數值			權重	指標脆弱性分數		
	北區	東區	香山區		北區	東區	香山區
老年人口	0.7127	1.0000	0.0000	0.0146	0.0104	0.0146	0.0000
幼年人口	0.4096	1.0000	0.0000	0.0165	0.0068	0.0165	0.0000
身心障礙人口	0.7408	1.0000	0.0000	0.0236	0.0175	0.0236	0.0000
獨居老人人口	1.0000	0.6660	0.0000	0.0237	0.0237	0.0158	0.0000

評估指標	指標正規化數值			權重	指標脆弱性分數		
	北區	東區	香山區		北區	東區	香山區
中低收入戶人口	0.4520	1.0000	0.0000	0.0088	0.0040	0.0088	0.0000
防救災預算	0.2584	0.0000	1.0000	0.0178	0.0046	0.0000	0.0178
防救災人員數量	0.2857	0.0000	1.0000	0.0191	0.0055	0.0000	0.0191
救災資源的分配	0.0000	0.1364	1.0000	0.0275	0.0000	0.0038	0.0275
防災社區推動	0.0000	0.0000	0.0000	0.0358	0.0000	0.0000	0.0000
獲得災害資訊	0.0000	0.0000	0.0000	0.0151	0.0000	0.0000	0.0000
避難物資的預備	0.8030	0.0000	1.0000	0.0265	0.0213	0.0000	0.0265
社區自救組織	0.5000	0.0000	1.0000	0.0547	0.0274	0.0000	0.0547
防災教育實施	0.0000	0.0000	0.0000	0.0438	0.0000	0.0000	0.0000
擁有相關防災設施	1.0000	1.0000	0.0000	0.0901	0.0901	0.0901	0.0000
設有警戒通報系統	0.0000	0.0000	0.0000	0.0981	0.0000	0.0000	0.0000
設有廣播系統	0.0000	0.0000	0.0000	0.0528	0.0000	0.0000	0.0000
居民參與演習人數	1.0000	1.0000	1.0000	0.0754	0.0754	0.0754	0.0754
疏散撤離作業規劃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0926	0.0000	0.0000	0.0000
受災經驗	0.3714	0.0000	1.0000	0.0536	0.0199	0.0000	0.0536
災害頻率	1.0000	0.0000	0.0000	0.0592	0.0592	0.0000	0.0000
對水災的認知	0.5818	0.0000	1.0000	0.0386	0.0225	0.0000	0.0386
尋求外界協助	0.8441	1.0000	0.0000	0.0202	0.0171	0.0202	0.0000
災前的準備	0.0000	1.0000	0.9751	0.0219	0.0000	0.0219	0.0214
社區家中撤離配置	1.0000	0.8746	0.0000	0.0405	0.0405	0.0354	0.0000
申請災害補助	0.0000	0.0000	0.0000	0.0331	0.0000	0.0000	0.0000
合計					0.4459	0.3261	0.3346

1. 敏感性構面

首先，在人口特性評估項目方面，包括老年人口及幼年人口兩個指標，分數合計後以新竹市東區的脆弱性最高(0.0311)，其次為北區(0.0172)，香山區最低(0.0000)。依據民國 103 年度新竹市統計年報得知，東區老年人口及幼年人口分別為 20,263 人及 42,592 人，北區則為 16,454 人及 24,139 人，香山區則為 7,004 人及 11,336 人，東區的老年人口及幼年人口最多，也最為脆弱。由於正規化數值介於 0 至 1 之間，具有相對化概念，當某一區域的指標數值為最低時，可視為基準值，以數值 0 的方式呈現，因此，香山區在人口評估項目分數才為 0。

其次，在社經條件評估項目方面，包括身心障礙人口、獨居老人人口及中低收入戶人口三個指標，分數合計後以東區的脆弱性最高(0.0482)，其次為北區(0.0452)，香山區最低(0.0000)。依據新竹市統計年報及衛生福利部統計處資料得知，東區身心障礙人口、獨居老人人口及中低收入戶人口分別為 7,067 人、124 人及 3,796 人，北區則為

6,070 人、166 人及 2,357 人，香山區則為 3,220 人、41 人及 1,170 人，東區的弱勢人口合計最多最脆弱。

另外，在政策環境評估項目方面，包括防救災預算、防救災人員數量、救災資源的分配及防災社區推動等四個指標，分數合計後以香山區的脆弱性最高(0.0644)，其次為北區(0.0101)，東區最低(0.0038)。依據各區公所統計資料、新竹市消防統計年報及新竹市消防局網頁資料得知，東區不論是防救災預算，或是防救災人員數量，均比北區及香山區高，所以這兩個指標的脆弱性分數最低。另外，在救災資源的分配指標中，北區擁有最多水災救災設備，香山區則最少，至於防災社區推動則三個區域均有進行，並遴選出示範社區。香山區在防救災預算、防救災人員數量及救災資源的分配上都較弱勢，致使脆弱性分數最高，此現象亦反映出，新竹市在防救災的人力物力配置上，存在著不均衡的潛在問題。

最後，將人口特性、社經條件及政策環境等三個評估項目分數加總後，在敏感性構面部份，以東區的脆弱性最高(0.0831)，其次為北區(0.0725)，香山區最低(0.0644)。

2. 防災能力構面

首先，在防災資源評估項目方面，包括獲得災害資訊、避難物資的預備、社區自救組織及防災教育實施等四個指標，分數合計後以香山區的脆弱性最高(0.0812)，其次為北區(0.0487)，東區最低(0.0000)。新竹市防災教育網及各區公所網頁，均有提供災害相關資料，以利市民瞭解災害特性及防救災準備事項。避難物資的預備，本研究採當地民眾可取得資源之超商店家數來計算，依據新竹市超商統計資料得知，以東區商家數最多，其次為北區，香山區最少。另外，社區自救組織指標，依據新竹市統計年報資料，以東區的社區守望相助隊數量最多，高達 83 個，其次為北區 30 個，香山區只有 17 個。至於防災教育實施指標，本研究透過新竹市消防局網頁得知，三區均有舉辦防災教育宣導或其他相關課程，呼籲市民注重防救災，提高市民對災害的認知。

其次，在防災設施評估項目方面，包括擁有相關防災設施、設有警戒通報系統及設有廣播系統等三個指標，分數合計後以北區及東區脆弱性最高，分數均為 0.0901，香山區則最低(0.0000)。擁有相關防災設施指標，本研究以各區抽水機數量來計算，經由經濟部水利署統計資料得知，香山區數量最多，有利於洪水期間進行排洪工作，故其脆弱性最低。此外，經由經濟部水利署統計資料得知，新竹市各區均設有警戒通報系統，而新竹市災害應變中心資料亦顯示，新竹市各里亦都設有廣播系統，這些資訊傳播系統均有利於降低洪患脆弱性。

另外，在防災演練評估項目方面，包括居民參與演習人數及疏散撤離作業規劃等兩個指標，分數合計後三區的脆弱性分數相同，均為 0.0754。本研究透過問卷調查，瞭解受訪者參與防救災演習狀況，結果顯示各區受訪者參與人數甚少，均為個位數。雖然新竹市統計年報中記錄民國 103 年度參與防救災演習人數有 1,128 人，但參與演

習人員多為消防、國防、警察、民間救難團體等單位，鮮少有居民的參與，未來應該多加鼓勵民眾參加防救災演習，避免洪患時進行防救災工作措手不及。在疏散撤離作業規劃指標中，由各區公所資料中得知，三區均有規劃緊急救難時的疏散撤離路線圖、移動所需時間以及最近避難地點等，可說是相當完備。

最後，將防災資源、防災設施及防災演練等三個評估項目分數加總後，在防災能力構面部份，以北區的脆弱性最高(0.2142)，其次為東區(0.1655)，香山區最低(0.1566)。

3. 調適能力構面

首先，在災害識覺評估項目方面，包括受災經驗、災害頻率及對水災的認知等三個指標，分數合計後以北區的脆弱性最高(0.1016)，其次為香山區(0.0922)，東區最低(0.0000)。在受災經驗指標中，北區、東區及香山區各有 54、67、32 位受訪者曾有水災經驗，共計 153 人，佔受訪者 40.5%，比率相當高，水災經驗包括房屋地板積水、傢俱破壞、人員受傷、汽機車泡水、財物損失等。一般而言，受災經驗越豐富者，越能因應洪水災害。災害頻率指標計算，是經由新竹市災害防救深耕計畫中，分析從民國 86 年至 103 年止，新竹市政府所公佈的歷年水災資料，以北區受災情況最多，脆弱性分數也最高，至於東區及香山區則約略相等。此外，對水災的認知指標計算，則是透過問卷調查，瞭解受訪者對水災發生的基本知識。受訪者普遍知道台灣水災發生的主要降雨類型為颱風降雨，發生時間主要在 7-9 月颱風期間，上游水土保持不良、都市排水不佳、河道淤積、河床土地不當使用及氣候變遷等因素是水災的重要原因，東區受訪者對水災的認知較佳，答對率較高，而香山區受訪者則較低。

其次，在調適行為評估項目方面，包括尋求外界協助、災前的準備、社區家中撤離配置及申請災害補助等四個指標，分數合計後以東區脆弱性最高(0.0775)，其次為北區(0.0576)，香山區最低(0.0214)。在尋求外界協助方面，受訪者大都知道可以透過網路災情通報、電話通報、守望相助隊等方式尋求外界協助，以香山區受訪者對此問項認知最高。另外，災前的準備方面，大部份受訪者知道要準備緊急糧食與飲水、手電筒與電池、雨具、醫療急救包、個人清潔用品、便於行走之衣物、鞋子、收音機、以及緊急逃生照明設備等，此外，也知道水災前要緊閉門窗、關閉總電源，拔除電器插頭、確保住家附近排水暢通、傢俱遷移至高樓層、與親友保持聯繫、政府宣布撤離時願意配合撤離等，以北區受訪者對此問項認知最高。至於社區家中撤離配置方面，受訪者普遍知道當地社區或自己住家發生水災時的撤離配置，其中以香山區受訪者認知較高。另外，申請災害補助方面，新竹市政府及各區公所均有受理災後補助申請。

最後，將災害識覺及調適行為兩個評估項目分數加總後，在調適能力構面部份，以北區的脆弱性最高(0.1592)，其次為香山區(0.1136)，東區最低(0.0775)。

4. 整體社會脆弱性

將敏感性、防災能力及調適能力三個構面的脆弱性分數合計後，得知北區的整體社會脆弱性最高(0.4459)，其次為香山區(0.3346)，東區則最低(0.3261)。細究各區狀況，北區在災害識覺及調適行為評估項目中分數較高，以致於該區整體社會脆弱性最高。香山區在政策環境及防災資源評估項目中分數較高，導致該區整體社會脆弱性成為次高。至於東區，雖然在人口特性及社經條件評估項目中分數較高，但由於權重較低，所以該區整體社會脆弱性最低。

五、結論

本研究以新竹市為例，探討都會區洪水災害的社會脆弱性，應用模糊德爾菲法選取評估指標，再經由層級分析法進行指標權重，另外，收集政府單位的統計資料及進行市民的問卷調查，逐一計算各評估指標數值，由於各指標數值單位不同，本研究將評估指標資料先經由標準化後再進行正規化處理，最後再進行加總計算，分析新竹市各區洪水災害社會脆弱性高低。研究結果重點如下：

新竹市洪水災害社會脆弱性指標包括敏感性、防災能力及調適能力三大構面，經過 15 位專家反覆兩次模糊德爾菲法問卷後，本研究共篩選出 25 個評估指標。敏感性構面選取出 9 個評估指標，包括老年人口、幼年人口、身心障礙人口、獨居老人人口、中低收入戶人口、防救災預算、防救災人員數量、救災資源的分配、防災社區推動。防災能力構面選取出 9 個評估指標，包括獲得災害資訊、避難物資的預備、社區自救組織、防災教育實施、擁有相關防災設施、設有警戒通報系統、設有廣播系統、居民參與演習人數、疏散撤離作業規劃。調適能力構面選取出 7 個評估指標，包括受災經驗、災害頻率、對水災的認知、尋求外界協助、災前的準備、社區家中撤離配置、申請災害補助。此外，評估指標透過 15 位專家經由層級分析法計算權重，在評估構面部份以防災能力權重值最高(0.549)，其次為調適能力(0.267)，再其次為敏感性(0.184)，顯示出專家們最注重當地的防災能力。25 個評估指標中，以設有警戒通報系統的權重值最高，其次分別為疏散撤離作業規劃、擁有相關防災設施、居民參與演習人數、以及災害頻率等。

在敏感性構面部份，以東區的脆弱性最高(0.0831)，其次為北區(0.0725)，香山區最低(0.0644)。東區的人口特性及社經條件較為脆弱，而香山區在政策環境脆弱性最高，包括防救災預算、防救災人員數量、救災資源的分配等均是較低。在防災能力構面部份，以北區的脆弱性最高(0.2142)，其次為東區(0.1655)，香山區最低(0.1566)。防災資源以香山區較為缺乏，防災演練則各區居民參與不多，未來應該多加鼓勵民眾參加防救災演習，熟悉洪患時防救災工作。在調適能力構面部份，以北區的脆弱性最高(0.1592)，

其次為香山區(0.1136)，東區最低(0.0775)。未來應該加強居民對水災的災害識覺，並強化適切的調適行為，降低洪水災害對民眾生命財產之衝擊。最後，將敏感性、防災能力及調適能力三個構面加總後，整體而言，北區的社會脆弱性最高(0.4459)，其次為香山區(0.3346)，東區則最低(0.3261)。

未來新竹市進行降低洪水災害社會脆弱性規劃時，應加強防災演練，讓民眾熟悉防救災工作，以備不時之需，此外，亦要提高居民的災害識覺，宣傳適切的調適方法。另外，各區部份，在北區方面，要特別加強防災能力及調適能力的提升；在香山區方面，應提高救災預算，充實防救災人員數量及救災資源的分配；在東區方面，應特別留意弱勢人口之照顧，包括老年人口、幼年人口、身心障礙人口及中低收入戶人口等。

參考文獻

1. 中央氣象局 (2017) 臺灣的降雨變化。
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/taiwan_climate/taiwan_2/taiwan_2_2.html。(2017/08/22 瀏覽)。
2. 吳杰穎、江宜錦 (2008) 臺灣天然災害統計指標體系建構與分析。地理學報，51：65-84。
3. 吳杰穎、黃昱翔 (2011) 颱洪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，38(2)：195-218。
4. 李欣輯、楊蕙瑄 (2012) 坡地災害社會脆弱度指標評估與應用。都市與計劃，39(4)：375-406。
5. 李堅明、陳建智 (2010) 台灣脆弱性指標建構與評估之研究。都市與計劃，37(1)：71-96。
6. 林美慧、廖學誠 (2008) 台北市景美溪下游河川環境教育發展現況與策略規劃。地理研究，48：25-46。
7. 林佩瑩、廖學誠 (2008) 民眾對高雄愛河綠廊的認知、互動關係及管理建議之探討。中華水土保持學報，39(3)：269-287。
8. 林冠慧 (2004) 全球變遷下脆弱性與調適性研究方法與方法論的探討。全球變遷通訊雜誌，43：33-38。
9. 林冠慧、張長義 (2015) 脆弱性研究的演變與當前發展。地理學報，77：49-82。
10. 陳志嘉 (2011) 土石流災害的社會脆弱性研究 - 以南投縣水里鄉為例。台北市：國立台灣師範大學地理學系博士論文。
11. 陳進成、許通安、廖莉芬 (2004) 遠距教學系統評估模式之研究 - AHP 方法之應用。資管評論，13：207-225。

12. 張倉榮、譚義績、賴進松、林永峻、潘宗毅 (2015) 新竹縣、新竹市及苗栗縣淹水潛勢圖第二次更新計畫。經濟部水利署水利規劃試驗所報告。
13. 郭彥廉、蕭代基 (2009) 天然災害脆弱性與社經脆弱性因子介紹。國研科技，22：99-101。
14. 簡禎富 (2005) 決策分析與管理：全面決策品質提升之架構與方法。台北市：雙葉書廊。
15. Abbas, H. B. and Routray, J. K. (2014) Assessing factors affecting flood-induced public health risks in Kassala State of Sudan. *Operations Research for Health Care*, 3(4): 215-225.
16. Adger, W. N. (1999) Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development*, 27(2): 249-269.
17. Adger, W. N. (2006) Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3): 268-281.
18. Akter, A. and Ahmed, S. (2015) Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. *Journal of Hydrology*, 528: 84-93.
19. Anderson-Berry, L. and King, D. (2005) Mitigation of the impact of tropical cyclones in northern Australia through community capacity enhancement. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(3): 367-392.
20. Birkmann, J. (2006) Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, 9-54. United Nations University Press, Tokyo.
21. Bollin, C. and Hidajat, R. (2006) Community-based risk index: Pilot implementation in Indonesia. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, 271-289. United Nations University Press, Tokyo.
22. Brody, S. D., Zahran, S., Vedlitz, A., and Grover, H. (2008) Examining the relationship between physical vulnerability and public perceptions of global climate change in the United States. *Environment and Behavior*, 40(1): 72-95.
23. Cannon, T., Twigg, J., and Rowell, J. (2003) Social vulnerability, sustainable livelihoods and disasters. Report to DFID Conflict and Humanitarian Assistance Department (CHAD) and Sustainable Livelihoods Support Office: 93pp.
24. Cutter, S. L., Boruff, B. J. and Shirley, W. L. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2): 242-261.
25. Cutter, S. L. (2006) The geography of social vulnerability: race, class, and catastrophe. *Understanding Katrina: Perspectives from the Social Sciences*: 120-122.
26. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014) IPCC Fifth Assessment Report (AR5)—Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.

27. Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G. and Kim, Y. (2013) A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Systems with Applications*, 40(4): 1003-1013.
28. Kappes, M. S., Papathoma-Köhle, M., and Keiler, M. (2012) Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2): 577-590.
29. Khalil, M. I. A. (2002) Selecting the appropriate project delivery method using AHP. *Project Management*, 20: 469-474.
30. Kou, G., Ergu, D. and Shi, Y. (2014) An integrated expert system for fast disaster assessment. *Computers & Operations Research*, 42: 95-107.
31. O'Brien, K. L., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., and West, J. (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 14(4): 303-313.
32. Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., and Glade, T. (2011) Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *Natural Hazards*, 58(2): 645-680.
33. Smit, B., and Wandel, J. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16 (3): 282-292.
34. Turner II, B. L., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Hovelsrud-Broda, G. K., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., Luers, A., Martello, M. L., Mathiesen, S., Naylor, R., Polsky, C., Pulsipher, A., Sshiller, A., Selin, H., and Tyler, N. (2003) Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14): 8080-8085.
35. Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., and Kaynia, A. M. (2008) A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, 102: 251-256.