脆弱度分析於山坡地保育區域規劃之研究

邱怡禎[1*] 陳美心[2] 周姝君[3]

摘　　要 近年來隨著環境氣候的變遷，全球化的極端氣候事件對人類環境造成衝擊。依據 UNCED 研擬的”Agenda 21”提及：「山區是一個重要生態系統。」臺灣山區大多屬於非都市土地並以區域計畫法為上位指導法規，本研究選定以脆弱環境系統中對應至臺灣法規所述之山坡地保育區為探討主題。臺灣現行法規之中對於山坡地保育區之劃設原則僅文字上之敘述及定義，本研究透過脆弱度之概念，運用 Pareto Ranking 分析方法，以臺中市子集水區為劃設單位繪製脆弱度地圖。

關鍵詞：非都市土地、山坡地保育區、脆弱度、Pareto Ranking。

The Study of Using Vulnerability Assessment for Slope Land Conservation Planning

Yi-Jhen Chiou[1*] Mei-Shin Chen [2] Shu-Chun Chou [3]

ABSTRACT In recent years, extreme weather events have been recorded as impacting on the global environment with increasing frequency and severity. The United Nationals Conference on Environment and Development (UNCED) highlighted the importance of mountain environments in maintaining global ecosystem processes. This research builds on the extensive literature on vulnerability and explores the susceptibility of mountain land to climate change in Taiwan. By way of a case study, the ‘Pareto’ ranking method is used to analyze vulnerability indicators jointly with quantified parameters of the multi-sub watershed of the Taichung City. GIS tools are then used to construct vulnerability maps in the study area.

Key Words: on-urban land, Slope land preservation area, Vulnerability, Pareto Ranking

一、前　　言

近年來隨著環境氣候的變遷，全球化的極端氣候事件對人類環境造成衝擊。科學家預估在 2020 年時，非洲大陸將有兩億五千萬人面臨水資源不足的危機；2030 年時亞太地區海平面將上升 16 公分，使眾多地區面對淹水危機，種種現象說明了人類系統在面對自然環境變化時的脆弱性，且在不同的背景之下，受環境變遷的衝擊候會產生不同程度的影響。

〔1〕逢甲大學地理資訊系統研究中心 資深規劃師（* 通訊作者 E-mail: racho@gis.tw ）
Senior Planner, Geographic Information Systems Research Center Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan
〔2〕逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 助理教授
Research Assistant Professor, Department of Urban Planning & Spatial Information, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan
〔3〕逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 研究生
Graduate Student , Department of Urban Planning & Spatial Information, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan

因此，自 1990 年起國際上在進行環境變遷的衝擊研究時，多從衝擊為主的研究方法(Impacts-led approach)轉移到以脆弱性為主的研究方法(Vulnerability-led approach)(林冠慧，2004)。迄今，國際學術上對於脆弱性的研究已累積相當文獻，且廣泛地運用在各領域。

依據聯合國環境與發展委員會（UNCED）研擬的「二十一世紀議程（Agenda 21）」中提及「山區環境對維護全球生態系統十分重要，它是地球複雜和相互依存的生態環境中的一個重要生態系統。」臺灣山區大多屬於非都市土地並以區域計畫法為上位指導法規，而非都市土地分為十種分區，其中與山坡地保育相關的分區為山坡地保育區。故本研究選定以脆弱環境系統中，對應至臺灣法規所述之山坡地保育區為探討主題。臺灣現行法規之中對於山坡地保育區之劃設原則僅文字上之敘述及定義，並無量化之準則。本研究透過脆弱度(Vulnerability)之概念，並運用 Pareto Ranking 分析方法綜合評估指標，以臺中市子集水區為劃設單位，透過 GIS 繪製脆弱度地圖，以作為本研究所定義之山坡地保育區範圍。

二、研究流程

本研究操作流程係先進行脆弱度相關文獻蒐集與回顧，擬定脆弱度分析之因子及方法，運用選定的指標架構進行 Pareto Ranking 分析，並將結果以 GIS 繪製脆弱度地圖，後進行結論與分析，流程如圖 1。

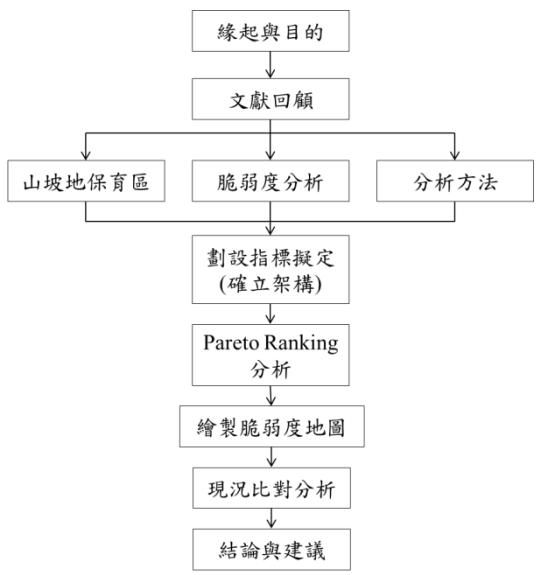


圖 1 研究流程圖

Fig. 1 The research process

三、脆弱度簡介

Blaikie et al.(1994)認為脆弱度應擴張內涵，不僅僅考慮受災的潛在特性，應將系統面對自然災害衝擊的準備、處理、應變、抵抗及恢復的潛在能力及特性皆考慮進去(洪鴻智、邵珮君，2004)。一般定義的脆弱度，指傾向或易受危害或傷害的程度(陳亮全，2003)，近年來因認知到氣候變遷改變的不只是物理性的危害，同時也改變了脆弱程度，使氣候變遷的概念加入脆弱度程度的範疇(吳珮瑛，2008)。

脆弱度此概念應用領域很廣泛，防災、生態系統或經濟產業之風險評估皆有相關研究，然而應用

於不同領域對於脆弱度有不同定義。過去有許多學者嘗試彙整脆弱度之定義，陳亮全(2009)於《各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回覆力之評估研究-以上區空間為對象》之國科會計畫中整理出 1978 年至 2007 年國內外學者對於脆弱度之定義，但至今仍無一統一的說法。

一般將脆弱性分為兩類，其一為「生物物理學的脆弱性」通常與自然災害的可能性衝擊有關，聚焦於災害的特性，例如規模、頻率和空間的影響程度(Burton et al., 1993; Hewitt, 1997)；另一為「社會的脆弱性」通常指人類系統受政治、經濟和社會的作用，使人處於風險中而出現降低、反抗或回復的能力(Watts and Bohle, 1993; Bohle et al., 1994; Cutter et al., 2003)，故脆弱性不僅能確認系統處於危險的程度，並且可以瞭解系統經歷災害時的敏感性和彈性(陳志嘉，2007)。

IPCC 於 2007 年全球氣候變遷第二次評估報告中，以全球變遷為背景，提出生態脆弱度之觀念，並對於脆弱度提出較具體的定義：「脆弱度是量化一個系統對於全球氣候變遷的影響，具有敏感度或是無法與其抗衡之程度。」然將脆弱度引用至生態環境領域的脆弱度可定義為「某一環境系統，暴露在災害、壓力或干擾之下可能經歷的傷害程度(Turner,2003)。」

2005 年南太平洋應用地球科學委員會(South Pacific Applied Geoscience Commission，SOPAC) 所發展的「環境脆弱度指標」(Environmental Vulnerability Index，EVI)針對臺灣等 234 個國家進行脆弱度評估。SOPAC 對五個面向(大氣項目、地質項目、國家特質、生物特質、人類發展因素)共 50 個指標其中的 29 個指標進行評分，結果將臺灣劃為高度脆弱地區。

本研究主要研究自然條件下地區之自然脆弱度，因此不將社會脆弱度納入研究範圍，並結合 IPCC 及 Turner 的觀點將脆弱度定義為「量化一個環境系統，暴露在災害、壓力或干擾之下可能經歷的傷害程度」。

四、材料與方法

1. 區域概述

臺中市位於臺灣中部，北與苗栗縣、新竹縣接壤、南臨彰化縣、南投縣，面積約 2,215 平方公里，境內地勢由東向西遞減，且包含山地、台地、盆地及平原地形多變化，且山坡地範圍佔全市 72%，因而選定為本研究之研究區域。

2. 材料

如要評估某一區域之生態脆弱度，可用以比較不同地點的脆弱度的等級。因此評估指標應具有描述系統的空間分布與結構的特性。使用者可依據研究目地的不同，選擇適當的指標與量化方法；而指標的選取最重要的是，應盡可能符合潛在衝擊及適應度有關的涵意。也由於生態環境種類多而複雜，形成環境脆弱的因素各有差異，所採用的評估指標隨之不同，須配合當地的生態特徵篩選適當的指標進行評估。(謝漢欽，2012)因此本研究回顧上述與山坡地保育區相關指標，並挑選合適指標作為本研究之研究材料如表 1 進行後續之分析。

表 1 本研究選定指標

Table 1 This study selected indicators

評估標的	評估面向	評估指標
脆弱度	生態環境敏感(為保護自然生態資源、景觀、環境之地區及涵養水源	自然保留區面積比例(國家公園、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境)
		特定水土保持區面積比例(土石流特定水土保持區、水庫集水

評估標的	評估面向	評估指標
	之地區)	區)
		水質水量保護區面積比例
		水庫蓄水範圍面積比例
	災害敏感(防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流失等地質災害之地區)	坡度
		崩塌地面積比例
		土石流影響範圍面積比例

3. Pareto Ranking 分析法

Pareto Ranking 分析法是依據經濟學中之柏拉圖最適(Pareto optimality)的原則來計算，可凸顯極端脆弱的面向，相較於平均法，不會因為平均而使得脆弱層面無法被凸顯。以本研究所欲評估的脆弱度來說，臺中市 123 個子集水區各別做單一因子的比較，例：倘若 A 子集水區在 X 因子中的值，較其他子集水區來得脆弱，且 A 子集水區在其他各分類中的值也是大於或等於其他子集水區，A 子集水區就會被定義為較脆弱的地區。若 A 子集水區在 Y 因子中，值有小於其他子集水區者，則 A 子集水區至少會被評定同其他子集水區一樣的等級脆弱，而不忽視 A 子集水區於因子 X 中之脆弱程度。

為詳細說明 PR 分析法，本研究以圖 2 顯示出 Pareto Ranking 之設計原則。若於兩因子的情況下，假設有 A、B、C、D 四個子集水區，每個子集水區皆有{C1,C2}兩因子的值，若選擇 A 子集水區為基準點畫出四個象限，依據 Pareto Ranking 原則，因 B 子集水區位於 A 之第一象限區域，因次 B 子集水區之{C1,C2}值較 A 大，也就表示 B 子集水區的脆弱度大於 A 子集水區，中圖是呈現多點比較的情境，參照左圖的方法，將各子集水區的點已象限的方式做比較，即可辨別出兩兩子集水區間的脆弱程度，最後檢查是否有其他子集水區的值位於該子集水區的第一象限，若無則將該子集水區為最脆弱的等級，如中圖中 1、3、5、6、7、8 皆無其他子集水區，位於這些點的第一象限內，因此將這些點列為最脆弱之等級，依據 Pareto Ranking 的設計原則進行操作，直到所有點都被分配到所屬的等級為止。

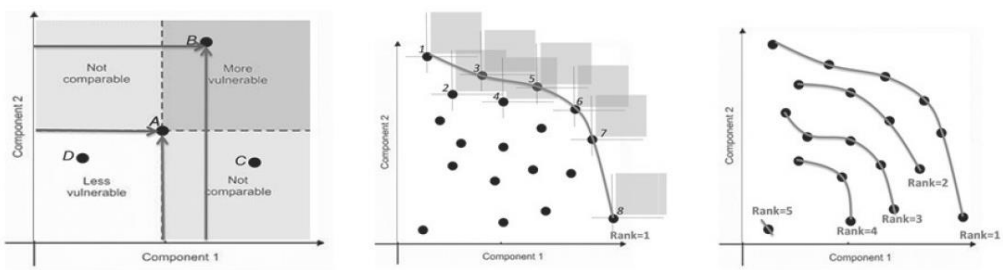


圖 2 Pareto Ranking 計算原理

Fig. 2 Pareto Ranking calculation principle

五、實證分析

藉由回顧過去研究成果及相關計畫，可協助整理出與山坡地保育區相關之因素，本研究希望以脆弱度所代表之脆弱程度反映出應保育之地區，因此透過過去研究成果所提出之關鍵因素，以脆弱度意涵為引導，提出一導入空間概念之山坡地保育區劃設方法。因過去多採用專家問卷來解決因子間之權

重問題，但因專家問卷難免因專家個人之背景而有所差異，因此本研究採用 Pareto Ranking 分析法，因為此研究方法注重因子於各組內做個案間的比較，解決因子之間因比較所產生的權重問題，依各分組內比較的結果層級決定該因子在整體上的脆弱度，可使分析者知道那些個案在眾多個案的相對弱勢狀況，操作流程如圖 3。

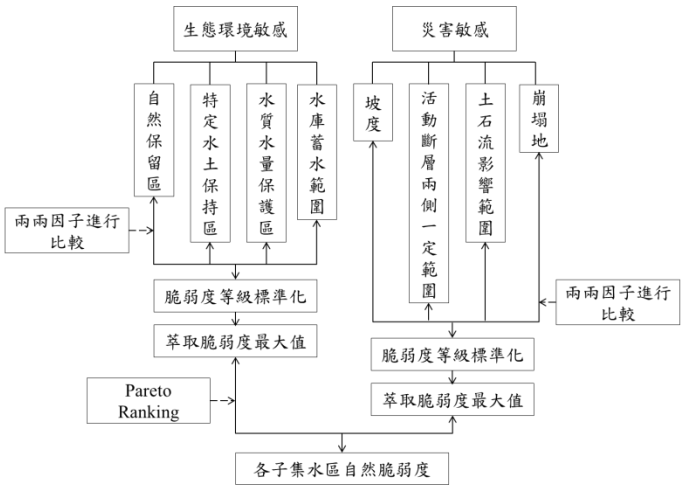


圖 3 分析流程圖

Fig. 3 Analysis process

在指標定義後，於同一面向中將兩兩指標以 Pareto Ranking 之概念進行比較，例如在生態環境敏感面向中，即針對各子集水區之自然保留區所佔子集水區面積與特定水土保持區所佔子集水區面積進行比較，最後將臺中 123 個子集水區進行分等。

然，因兩兩指標比較後的結果(分級)的級數並不統一，故本研究進行該面向脆弱度等級之標準化，即無論兩兩指標比較後的分等為幾個級數，本研究將其統一化算至五個等級，以便後續進行 Pareto Ranking。

在同一面向進行兩兩因子比較後，每一子集水區會獲得六個化算為 0~5 等級之數字，其中取等級最大者代表該子集水區於該面向之脆弱度等級。進行因子比較、等級標準化及萃取最大值後，每一子集水區獲得於該面向之脆弱度等級，即為圖 4 與圖 5。

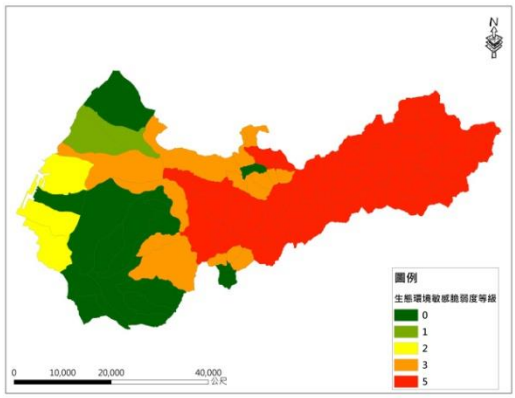


圖 4 生態環境敏感脆弱度圖

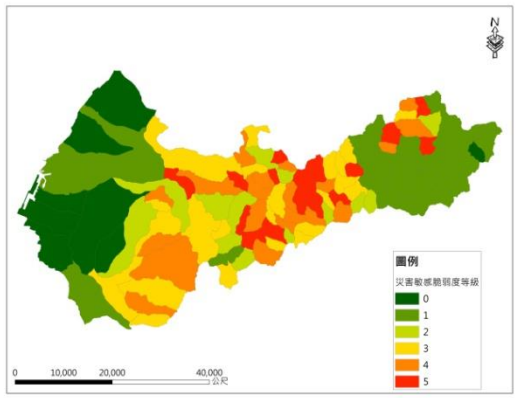


圖 5 災害敏感脆弱度圖

Fig. 4 Ecologically sensitive environment vulnerability Fig. 5 Disaster vulnerability of sensitive

生態環境敏感脆弱地區及災害敏感地區進行 Pareto Ranking 過程如下，橫軸及縱軸分別代表生

態環境敏感及災害敏感兩面向之脆弱度等級，首先將此兩面向皆為 0 等級脆弱度地區挑出，列為不包含脆弱度之等級 0；再將僅包含一面向脆弱度之子集水區挑出，定義其脆弱度等級為 1，因兩脆弱度比較，若有一數為 0，則其比較並無意義，但又因包含某一面向之脆弱度，不能忽視該子集水區在本研究指標架構下，擁有部分脆弱度，因此若僅包含一面向之脆弱度則給予脆弱度等級 1；其餘擁有兩面向脆弱度子集水區進行 Pareto Ranking 如圖 6，藍色點即代表子集水區之於本研究所架構脆弱度兩面向所對應之位置，並在進行 Pareto Ranking 後將脆弱度劃分 2-9 共七個等級並將結果展繪於 GIS 軟體，如圖 7。

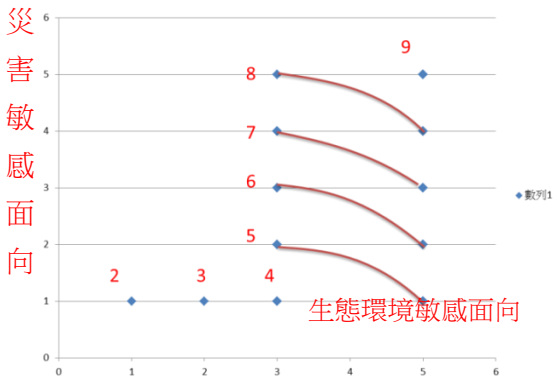


圖 6 Pareto Ranking 實驗成果

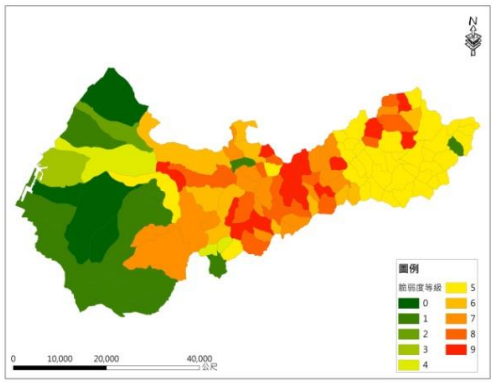


圖 7 臺中市脆弱度分級圖

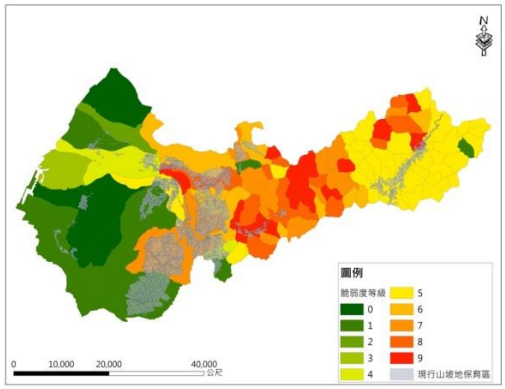
Fig. 6 Pareto Ranking Experimental results Fig. 7 Taichung City vulnerability classification

由圖 6 可看出 Pareto Ranking 將臺中市子集水區劃分為 2 至 9 共 8 個等級，加上不含脆弱度的等級 0 及僅含一個脆弱度面向的等級 1，將臺中市子集水區共劃分為 10 個等級。又於圖 6 可看出劃分結果自然脆弱度第 5 等級，於生態環境敏感面向已達該面向最高脆弱度，而對於高度生態環境脆弱之地區應為須保育之地區，故建議將研究結果子集水區脆弱度 5 等級以上區域劃為山坡地保育區域。

承上，若將研究成果之自然脆弱度等級 5 以上劃為山坡地保育區域，據統計，臺中市 123 個子集水區，有 78.8%皆在建議劃為山坡地保育區域範圍內，比對現行之山坡地保育區，現行山坡地保育區有 70%落於本研究所建議之山坡地保育區域(如圖 8)，未落於此區域之 30%推測與早期山坡地保育區之劃設方式相關。

本研究透過相關法規及指標的回顧，結合地理資訊系統軟體以子集水區為劃設單位，並以 Pareto Ranking 分析方法進行脆弱度分級，提供一快速且科技的方法，找出特定因素所累積之相對脆弱地區，相較於早期劃設山坡地保育區之劃設方式為非都市土地劃分特定農業區等九大分區後，其餘土地劃為山坡地保育區，更能有效落實區域計畫法對於山坡地保育區所賦予保育環境之功能。

以實際狀況來說，臺中市東邊區域坡度較西部地區陡峭，而現行多為森林區、林班地及國家公園(如圖 9 至圖 11)，故臺中市東部區域為較需要保育之區域，符合研究將自然脆弱度 5 等級以上劃為山坡地保育區域之結果。



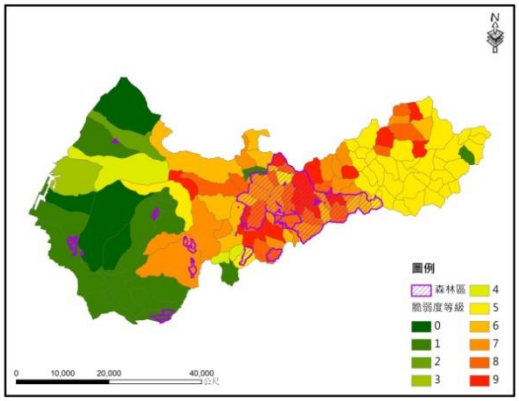
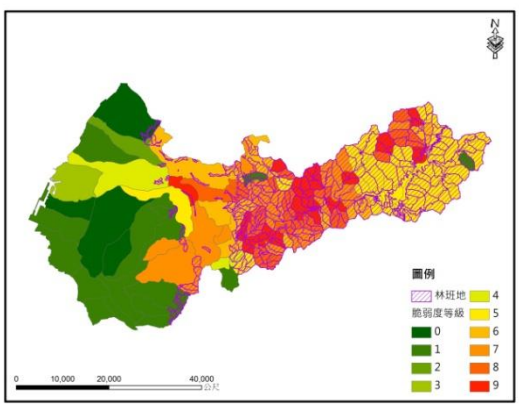


圖 8 自然脆弱度地圖與現況山坡地保育區分布圖　圖 9 自然脆弱度地圖與現況森林區分布圖

Fig. 8 Natural vulnerability maps and current status of the distribution hillside conservation area

Fig. 9 Natural vulnerability maps and current status of the distribution of forest area



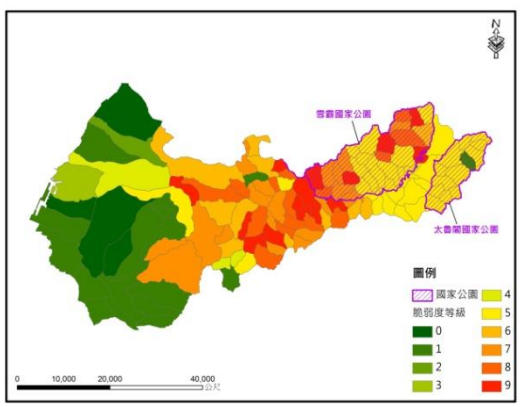


圖 10 自然脆弱度地圖與現況林班地分布圖　圖 11 自然脆弱度地圖與現況國家公園分布圖

Fig. 10 Natural vulnerability maps and current status of the distribution Compartment

Fig. 11 Natural vulnerability maps and current status of the distribution of national parks

六、結論與後續研究

本研究以非都市土地山坡地保育區域為研究主軸，搭配脆弱度概念輔以相關因子，利用臺中市子集水區為劃設單元，以 Pareto Ranking 分析方法進行脆弱度分級，最後利用 GIS 軟體展示脆弱度地圖，並將結果套疊 100 年內政部地政司地籍圖與現況山坡地保育區進行比對，本研究成果結論如下：

1. 結論

(1) Pareto Ranking 分析方法用於脆弱度分析為一可行之方法

回顧脆弱度相關文獻可發現，脆弱度指標分析的相關方法中，經常涉及權重訂定的問題，這些問題不外乎是為了將指標之間區隔出先後順序，而 Pareto Ranking 分析方法用於

脆弱度分析，以比較方式找出因子之間相對弱勢之助況，解決因子之間因比較所產生的權重問題。

(2)本研究之方法提供國土規劃一新思維，後續國土規劃建議可將脆弱度議題納入討論

本研究透過相關法規及指標的回顧，結合地理資訊系統軟體以子集水區為劃設單位，並以 Pareto Ranking 分析方法進行脆弱度分級，提供一快速且科技的方法，找出相對脆弱之地區。相較現行山坡地保育區之劃設方式為非都市土地劃分特定農業區等九大分區後，其餘土地劃為山坡地保育區之方法，因參考相關法規及劃設指標且加入空間概念，更能有效落實區域計畫法對於山坡地保育區所賦予保育環境之功能。

2. 後續研究

脆弱度研究在全球變遷的背景下最重要的意涵是希望能透過一套評估系統，以呈現環境變遷對人類系統的衝擊，評估期望能為相關決策提供參考。後續研究建議如下：

(1)加入社會脆弱度並增加評估面向：

本研究因時間及相關資料取得的關係，僅考慮自然脆弱度，未將社會脆弱度納入研究討論，研究過程將多個影響因子歸納成兩大面向進行研究，後續研究可加入社會脆弱度條件並增加考慮面向，提供規劃更完整的結果。

(2)縮小尺度使脆弱度地圖更精準：

多數脆弱度地圖之劃設多以縣市為單位，本研究為深入探討臺中市之脆弱度以臺中市區內子集水區為劃設單位，探討臺中市之自然脆弱度，後續建議可縮小探討區域並縮小劃設尺度，以期使脆弱度地圖更為精準。

參考文獻

1. 吳珮瑛(2008)，氣候變遷與永續發展的展望，「全球變遷通訊雜誌」，第 58 期，第 20 章。
2. 吳杰穎、江宜錦(2008)，台灣天然災害統計指標體系建構與分析，「地理學報」，第 51 期，第 65-84 頁。
3. 李欣輯、楊惠萱(2012)，坡地災害社會脆弱度指標評估與應用，「都市與計劃」，第 39 卷，第 4 期，第 375-406 頁。
4. 洪鴻智、邵珮君(2004)，「災後重建體系及其運作機制檢討與建置之研究」，台北：行政院災害防救委員會。
5. 陳志嘉(2007)，台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，第 47-71 頁。
6. 陳亮全(2003)，地震災害風險-效益分析於土地使用規劃之應用：應 HAZ-Taiwan 系統，「都市與計畫」，第 30 卷，第 4 期，第 281-299 頁。
7. 陳亮全（2009），「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 -以社區空間為對

象」， NSC 97-2621-M-002-028，台北：行政院國家科學委員會。
8. 謝漢欽、呂明倫、蔡真珍(2012)，介紹海岸林地及森林集水區生態脆弱度評估與調適的方法，「林業論壇」，第 19 卷，第 1 期，第 64-69 頁。
9. Blaikie, P. et al. (1994). At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters. London: Routledge.
10. Bohle, H.G., Downing, T.E., Watts, M.J. (1994) Climate change and social vulnerability: toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change, 4: 37–48.
11. Burton, I., Kates, R.W., White, G.F. (1993) The Environment as Hazard (2nd edn) ,New York: Guilford.
12. Cutter, S.L. (2003) The vulnerability of science and the science of vulnerability,Annals of the Association of American Geographers, 93: 1–12.
13. Hewitt, K. (1997) Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters,Wesley Longman, Essex, Addison.
14. Turner II., B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W.,Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L.,Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A. (2003) A framework for vulnerabilityanalysis in sustainability science, Proceedings of the National Academy ofSciences US, 100: 8074–8079.
15. Watts, M., Bohle, H. (1993) The space of vulnerability: the causal structure ofhunger and famine, Progress in Human Geography, 17: 43–67.