

運用腦力激盪與德爾菲法評估台灣氣候變遷災害的關鍵脆弱性

郭彥廉、李洋寧

【摘要】

過去氣候變遷衝擊研究多著重於量化現象或面向的衝擊評估，而未將影響衝擊的重要因素，即關鍵脆弱性，如環境與社經因子納入分析。目前氣候變遷僅有氣象情境模擬，若再加上環境與社經因素則有高度不確定性。本文由專家學者腦力激盪建立現象與衝擊之關聯架構，再利用專家問卷，確認各種關聯之程度，可呈現多因素與多災害面向之關係。結果可做為擬定調適策略之參考。本研究重要發現包括：1. 影響洪災與坡地災害最重要的氣候變遷現象為降雨強度增加，旱災則是平均氣溫上升，海岸災害為海平面上升。此外，侵台颱風強度增加及乾旱發生頻率增加與災害有強的關聯。目前全球氣候模型僅提供平均溫度與海平面模擬，故台灣需強化降雨強度與侵台颱風之變化監測及模擬、預測研究；2. 加重災害衝擊的環境、社經脆弱性均與土地利用及水資源管理相關，且坡地災害、洪災、旱災有相互加成的效果，整合管理這些面向應是可以考慮的調適策略。

關鍵詞：氣候變遷調適、脆弱性、德爾菲法、腦力激盪



前言

政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次評估報告利用四類溫室氣體排放情境推估未來全球溫度、海平面及降雨量的變化趨勢。因著這些變化趨勢，第四次評估報告提到了許多與天然災害相關的影響，包括海平面上升、熱浪次數增加、豪大雨事件的頻率增加、受乾旱影響的地區增加、強烈熱帶氣旋(颱風)活動增加、及極端高海平面發生率增加等(IPCC, 2007a)。然而，未來溫度、海平面、降雨量推估因為是依四種排放情境進行，故僅有變化範圍沒有機率分布。依據這些推估所評估的氣候變遷衝擊，如熱浪、乾旱、豪大雨事件等便僅有方向，而無範圍(程度)與其發生機率分布。此外，在空間解析度方面，評估報告所使用的模擬資料平均資料網格點距離約300公里(台灣本島南北長約395公里)，僅能以洲的尺度推估氣候變遷影響，例如南、東、東南亞海岸地區洪水風險增加(IPCC, 2007b)。評估報告同時指出非氣候相關的壓力可能降低環境的復原力，進而升高環境氣候變遷的脆弱度¹；未來之脆弱度不僅決定於氣候變遷，也決定於發展路徑(IPCC, 2007b)。最後，評估報告認為即使採行最嚴格的減緩(mitigation)措施，在未來幾十年中，仍無法避免進一步的氣候變遷衝擊，因此調適(adaptation)就變得非常必要²。因此，氣候變遷的衝擊不僅是在氣候方面具有不確定性，還與其他非氣候相關因素、社會發展等有關，而我們必須在如此高度不確定性的情形下規劃調適。

過去十年來，在行政院國家科學委員會(現為科技部，以下簡稱國科會)的推動下，已有許多台灣氣候變遷的相關研究。在氣候變遷的現象與趨勢方面，最新且全面性的成果為台灣氣候變遷科學報告。然而，此報告是採用IPCC第四次評估報告24個氣候模式的結果，再加以降尺度而來。對台灣的氣候變遷仍僅有氣溫與降雨量推估，未來冬季平均雨量多半都是減少的，約有一半的模式推估是介於-3%至-22%之間。未來夏季平均雨量變化，除了北臺灣以外，超過3/4的模式推估降水將增加，約有一半的模式認為未來夏季平均變化主要是介於+2%至+26%之間。報告也指出台灣氣候變遷未來推估的不確定性來源，包括模式模擬的不確定性、自然氣候變動的不確定性、未來發展情境的不確定性、降尺度方法對不確定性的影響(許晃雄等, 2011)。這顯示為了進一步推估台灣的氣候變遷，將會增加原有的不確定性。過去評估台灣氣候變遷衝擊的研究也都採取了類似的作法，即引用IPCC報告的模擬結果再降尺度後進行災害推估。科學報告同時也回顧台灣過去天然災害的相關研究，認為台灣過去淹水災因主要分為自然因素與人為因素，其中部分自然因素與極端氣候事件有密切關係。豪雨是造成坡地災害的原因之一，近年來坡地災害的嚴重性增加，一方面需考量氣候變異對強降雨造成的影響，其他自然因素(如地震)以及人為因素(道路開發、山區休閒產業發展等)的影響須同時考量(許晃雄等, 2011)。顯示評估台灣氣候變遷災害的關鍵脆弱性，並據以擬定調適策略，將有比全球尺度更高的不確定性。此外，未來台灣面臨的挑戰將不僅氣候變遷，台灣整體的環境亦在變遷中。本文的目的是要找出氣候變遷與災害衝擊之關聯，並探索會加重這些災害衝擊的環境與社會因子，意即脆弱性，再針對氣候變遷、環境及社會脆弱性與災害衝擊之關聯程度，找出天然災害關鍵脆弱性及其衝擊，可供氣候變遷調適規劃之用。

¹ Vulnerability 指的是一個系統容易受到氣候變遷影響(包括氣候變異和極端氣候現象)，或無法因應氣候變遷不利影響的程度(IPCC, 2007b)。

² 減緩指透過減少溫室氣體排放或增加吸收溫室氣體的能力的措施，能減輕氣候變遷的程度與影響。調適指為使各種活動能於變遷後的氣候中正常進行的措施。



壹、文獻回顧

風險(risk)可以定義為後果(consequence)與機率(probability)乘機的合，或稱期望值。Yoe (2012)認為風險的不確定性來自於四者，即機率與後果的知識不確定性(knowledge uncertainty)及自然的變異(natural variability)。知識的不確定性表示目前知識不確定的部分，自然的變異表示有已知的機率分配。目前氣候變遷的脆弱性與衝擊研究文獻，均有這四方面的不確定性。

目前氣候變遷的脆弱度與衝擊研究文獻根據研究方法可以分為彙整研究成果、衝擊量化模擬、專家決策等三種。第一類的彙整研究成果方面，最具公信力且廣為各方使用的國際尺度衝擊研究便是前言所提到的 IPCC 評估報告。IPCC 第四次評估報告第二工作組第 19 章主要透過專家討論的方式，回顧各種氣候變遷研究及數種全球氣候模式(global climate models, GCMs)模擬之未來氣候，探討氣候變遷對不同系統、區域之影響與風險，依據衝擊的程度、時間、機率、調適能力、系統重要性等原則評定關鍵脆弱度，並評估避免關鍵脆弱度的因應策略(Schneider et al., 2007)。第五次評估報告對脆弱度的定義略有修改，且進一步說明關鍵風險與脆弱度，關鍵風險乃因氣候相關的危害對人類、社會生態系統引致潛在嚴重負面後果者，而脆弱度則是氣候變遷對系統造成負面影響的傾向或特徵，包括對損害的敏感程度及缺乏因應與適應能力。關鍵脆弱度則是引致關鍵風險的脆弱度(Oppenheimer et al., 2014)。也就是氣候危害對人類、社會生態系統造成嚴重負面影響的傾向或特徵。第四次評估報告將脆弱度定義為受害程度，第五次評估報告則定義為引致損害的傾向或特徵。本研究主要採第五次評估報告的定義，為免混淆，特將 vulnerability 翻譯為脆弱性以為區隔。

除了國際層級的 IPCC 評估報告，許多國家亦有國家層級的氣候變遷評估報告，方法也多是屬於彙整研究。例如台灣的第二版國家通訊(行政院環境保護署，2011)，內容包括氣候變遷衝擊影響與調適對策，主要回顧國科會的研究成果，將 IPCC 提供的 GCM 模擬結果透過降尺度方法模擬未來區域氣候，再透過專家討論的方式，彙整國內各種氣候變遷衝擊研究，提供量化或質化的衝擊推估。然而，這類彙整研究雖然以以下介紹的特定領域量化研究為基礎，加上專家評估，但從回顧文獻到專家評估中間並沒有一套有系統的方法。

第二類的氣候變遷衝擊研究文獻則是利用量化模式評估衝擊，但量化模式通常僅能模擬某一種特定的災害或影響對象。過去十年來，國科會補助許多研究計畫，包括如氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略(周昌弘等，2009)，應用GCMs經統計降尺度後的區域氣候模式(RCMs)於評估氣候變遷對生物多樣性、農糧、森林、漁業、公衛等方面的衝擊；氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究(蔡長泰等，2009)，包括評估淹水、乾旱、坡地土砂災害、防洪措施、水庫系統等的衝擊。以氣候變遷對台灣公共衛生的衝擊為例，該研究利用過去溫度與死亡率資料建立關係，用以推估未來氣溫上升後對死亡率的影响(宋鴻樟等，2008)。這類研究有以下幾個研究限制：

1. 利用過去資料建立模式，難以推估超出過去氣候現象規模之衝擊。亦即Yoe (2012)所稱知識的不確定性。
2. RCMs來自於GCMs，而GCMs屬情境模擬，故有機率的知識與自然變異不確定性。
3. RCMs與GCMs僅有平均氣溫與總雨量數據，無法推估個別的極端事件及其影響。故後果的知識與自然變異均有不確定性存在。
4. 刻意排除其他因素的影響，例如對水資源與淹水的影響則不考慮未來用水及地層下陷等因素的影響，但對某些系統，非氣候變遷因素的影響遠較氣候變遷為大。
5. 針對個別指標之影響評估無法反應交互影響，如對水資源、河川流量、水庫系統、乾



早的影響評估均分屬不同計畫，實則密切相關。

第三類的研究則是專家決策，或由專家提供資訊讓利害相關者自行決策。此類研究主要是提供各面向概略的衝擊影響，供中央政府進行調適策略規劃或交由各部門使用者自行規劃調適之用。澳洲溫室氣體辦公室(Australian Greenhouse Office, AGO)於2006年提出一份針對商業與政府的氣候變遷衝擊與風險管理指導手冊，由各部門的代表人、領導者、組織管理者、特定風險管理者以及外部風險專家所共同完成，希望藉由不同背景的利害關係人的風險認知，來確認氣候變遷衝擊及其因應策略，協助澳洲商業與組織能夠調適氣候變遷的衝擊(AGO, 2006)。專家決策法亦應用於氣候變遷，如國科會計畫—全球化與氣候變遷下國土規劃之研究，為進行未來國土規劃，運用專家座談與問卷提出氣候變遷、其衝擊及因應策略間因果關係(馮正民等, 2006)。然而，此研究的衝擊評估架構是由研究者以文獻回顧自行建立，且僅將氣候變遷的現象納入，沒有將環境、社經脆弱性因子一併考量。

過去研究多著重於氣候變遷現象、趨勢，以及現象之衝擊或單一面向的衝擊評估，而未將影響氣候變遷衝擊的重要因素，即關鍵脆弱性，如環境與社經因子納入分析。氣候變遷的現象與趨勢僅有氣溫及總雨量的情境模擬，若再加上環境與社經因素則有高度不確定性。本文重點在於呈現多因素與多災害面向之關係，以為將來擬定調適策略之參考，故無法以量化模型進行，因此以多評準決策法進行。

貳、研究方法與操作流程

多評準決策法必須在評估的目標與準則已經確定的情況下執行，因氣候變遷的現象與衝擊範圍尚無定論，故需先建立評估架構。然而，過去氣候變遷文獻多為量化單一現象或面向的衝擊評估，採文獻回顧仍無法反應多因素與面向的關連，故本研究分為兩大程序，第一個步驟邀請專家學者召開創意思考工作坊建立現象與衝擊之關聯架構。第二個步驟找出台灣受氣候變遷影響，引發災害的關鍵脆弱性。關鍵脆弱性是根據 IPCC 的定義，依衝擊的程度、時間、機率、調適能力、系統重要性等原則評定影響衝擊的重要因素。時間、地點界定為 2030-2050 年左右台灣鄰近地區，透過專家問卷以德爾菲法判斷發生之可能性。影響衝擊的程度、調適能力、系統重要性等因素，則同樣由專家考量，由德爾菲法判斷各種脆弱性與災害的關聯程度。研究方法與流程說明如下。

一、 研究方法

(1) 腦力激盪法

工作坊進行的主要精神，便是以腦力激盪法，讓參與的成員發揮創意、提出個人想法，凝聚不同領域成員之共識，以得出在場成員均能接受的成果。腦力激盪法是由 Osborn 於 1937 年所倡導，此法強調集體思考的方法，著重互相激發思考，鼓勵參加者於指定時間內，構想出大量的意念，並從中引發新穎的構思(張玉成, 1988; 陳龍安, 1997)。

(2) 德爾菲法(Delphi)

氣候變遷雖然有全球尺度的模擬推估及個別災害、部門的區域化衝擊評估，但台灣的氣候變遷及複合型災害、跨領域的整合評估則尚有高度不確定性。本文採德爾菲法(Delphi Technique)對此一探索性議題進行瞭解。德爾菲法是一種以書面方式整合專家群意見的方法，進行過程乃針對某特定議題，借重專家的經驗與知識，透過數回合反覆回饋循環式問答，強化專家間溝通及避免個人偏見，並藉由統計分析方法，客觀地表示參與者意見分散的情形，最終獲得專家群可靠而一致的意見(江淑玲、林麗容, 2007)。由於德爾菲法使用



數名專家參與的回饋循環式問卷，多數研究採用共識性差異指標(consensus deviation index, CDI)作為判斷共識是否達成的依據。首先需計算共識程度(degree of consensus, DC)，其公式如下：

$$CDI_{jt} = \frac{S_{jt}}{X_{jt}} \times \frac{\overline{X}_{jt}}{\max_j(\overline{X}_{jt})} = \frac{S_{jt}}{\max_j(\overline{X}_{jt})}, \forall j, t$$

\overline{X} 為平均值， S 為標準差， S/X 為變異數。

共識性差異指標(CDI)則是 $DC_{jt} = 1 - CDI_{jt}, \forall j, t$ 。

本研究將共識程度門檻訂為過去文獻較常使用的 0.8，當該题目的共識程度低於 0.8 時，則計算該題回答的平均值與標準差，將平均值加減一個標準差訂為合理範圍，請答案超出合理範圍的專家進一步說明回答的理由或修改答案。通常德爾菲法需經數次溝通直到共識程度高於門檻值方停止，但本研究為了節省時間，且同時呈現在某些項目上尚難達成共識的情形，表示該項目仍需要投入更多研究。因此，此專家問卷僅進行兩次填寫，即超過一個標準差的答案經過一次修改，未達門檻值的部分則標明無法達成共識。

腦力激盪法及德爾菲法已廣泛用於教育、管理或商業領域中，缺點是難量化，僅能提供相對重要性，在氣候變遷衝擊、脆弱性評估文獻中，過去未有結合這些方法的研究。本研究運用此兩方法提出氣候現象、脆弱性與衝擊之關聯，並評估相對重要性，相較於過去研究更完整。

二、 操作流程

台灣未來在氣候變遷下的天然災害關鍵脆弱性與衝擊透過以下四個步驟建構，第一個步驟是建立氣候變遷與災害衝擊之間的關聯，第二步是評估各種氣候變遷現象發生的可能性，第三步是找出影響災害衝擊的環境與社經脆弱性，第四步是評估氣候變遷現象、脆弱性與災害之間關聯的重要性。本文的研究流程如圖 1 所示，說明如下。

(一) 氣候變遷與災害衝擊之關聯

由於氣候變遷在各層面均可能造成衝擊影響，故本研究請許多不同專長的專家透過兩次「氣候變遷與災害衝擊之關聯工作坊」，確認氣候、環境與社會變遷現象及造成之衝擊，包括各衝擊之間的相互影響。工作坊參加成員之專業與職位如表 1 所示。工作坊進行的主要精神，便是腦力激盪法。工作坊簡要步驟如下：

1. 對參與者簡介台灣氣候、環境、社會過去變遷及未來氣候變遷趨勢。
2. 參加者對促成者所提示的主題進行構想，如變遷現象、脆弱性、衝擊影響等，寫在 N 次貼上。
3. 參加者輪流針對自己的 N 次貼內容進行解說並貼上海報。此步驟禁止批評。
4. 若參與者有新構想、聯想或不確定的想法，則提出來討論並寫在其他的 N 次貼貼上海報。
5. 由促成者協助參與者將內容相似的卡片集中起來，用一個參加者都同意標題取代。
6. 由促成者協助參與者進行綜合歸納。



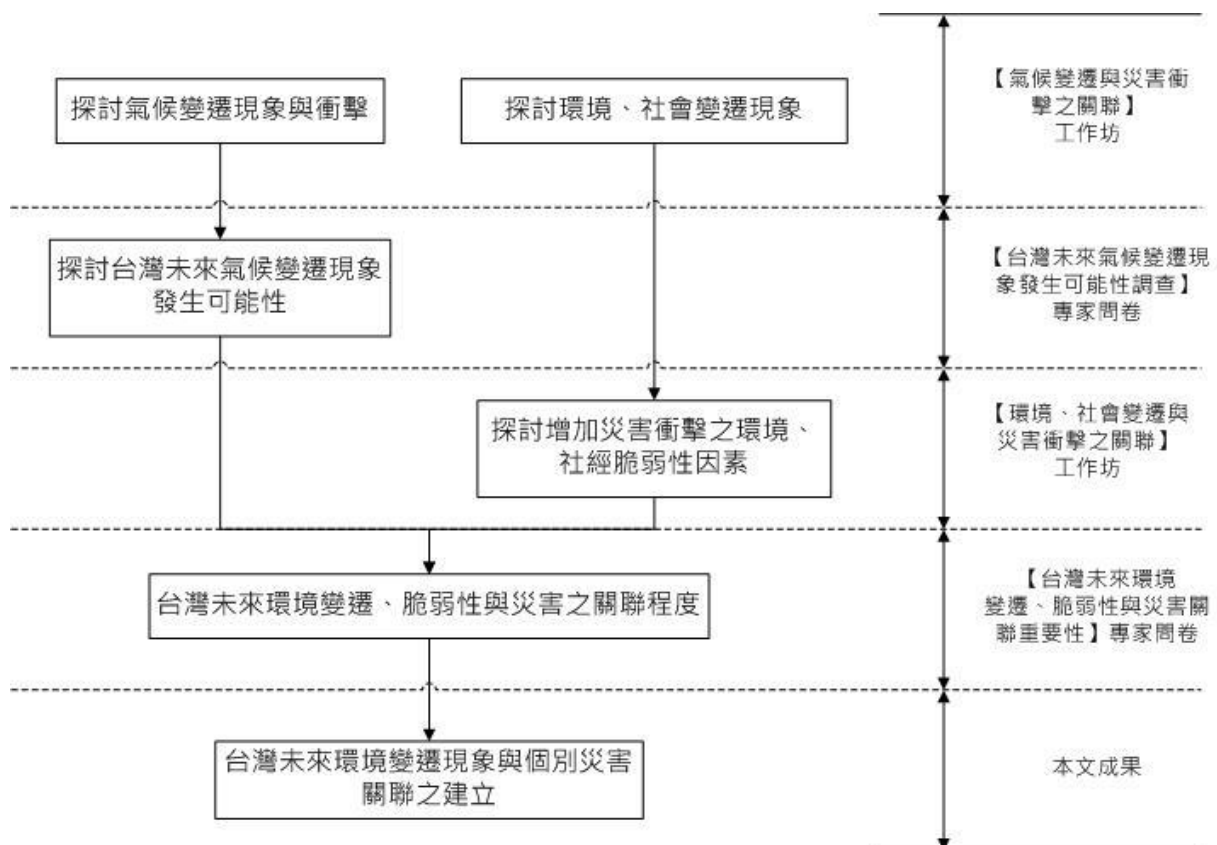


圖 1. 「台灣未來環境變遷與災害衝擊之關聯」研究流程圖

表 1. 氣候變遷與災害衝擊之關聯工作坊參加成員之專業表

| 專長領域 | 第一次工作坊成員 | 第二次工作坊成員 |
|------|--------------|-------------------|
| 氣象學 | NCDR 氣象組研究助理 | NCDR 氣象組助研究員 |
| 洪旱災害 | NCDR 洪旱組研究助理 | NCDR 洪旱組助研究員 |
| 坡地災害 | NCDR 坡地組助研究員 | NCDR 坡地組研究助理、助研究員 |
| 社會學 | NCDR 社經組研究助理 | NCDR 社經組助研究員 |
| 經濟學 | NCDR 社經組助研究員 | — |
| 心理學 | NCDR 社經組研究助理 | — |
| 空間規劃 | NCDR 社經組研究助理 | NCDR 體系組助研究員 |
| 生態學 | 中華經濟研究院研究助理 | — |
| 能源 | 國立台灣大學農經博士生 | — |
| 森林 | 國立台灣大學森林博士生 | — |
| 農糧 | — | 農委會農業試驗所副研究員 |
| 漁業 | — | 國立海洋大學環漁系助理教授 |
| 公共衛生 | — | 高雄醫學大學公衛系助理教授 |
| 海洋 | — | 國立中山大學海環博士生 |

註：NCDR 為國家災害防救科技中心



(二) 台灣未來氣候變遷現象發生可能性調查

本研究邀請八位過去七年內實際參與氣候變遷研究計畫的氣象學者專家，進行「台灣未來氣候變遷現象發生可能性調查」，採用德爾菲法判斷前述工作坊提出與災害相關之氣候變遷現象，在 2030-2050 年左右台灣鄰近地區發生之可能性。發生可能性的分類與 IPCC 評估報告相同，採七點量表，依可能性大小順序為：幾乎確定、非常可能、可能、有點可能、不可能、非常不可能、幾乎確定不可能。參與此調查的專家包括三位國家災害防救科技中心的助研究員、中研院環境變遷研究中心副研究員、兩位國立台灣大學大氣科學系教授、國立臺灣師範大學地球科學系教授、國立台灣大學大氣科學系助理教授。兩次問卷後，所有現象共識度均達門檻值，調查結果如表 2 所示。

表 2. 台灣未來氣候變遷現象發生可能性調查結果表

| 氣候變遷現象 | 可能性平均值 | 共識度 |
|---------------|--------|------|
| 1. 海平面上升 | 非常可能 | 0.89 |
| 2. 暴潮發生機會增加 | 可能 | 0.84 |
| 3. 平均氣溫上升 | 幾乎確定 | 0.95 |
| 4. 極端溫度發生機率增加 | 非常可能 | 0.87 |
| 5. 海水溫度上升 | 非常可能 | 0.89 |
| 6. 降雨空間分佈改變 | 非常可能 | 0.87 |
| 7. 降雨季節時序改變 | 可能 | 0.86 |
| 8. 降雨強度增加 | 非常可能 | 0.87 |
| 9. 乾旱發生頻率增加 | 可能 | 0.85 |
| 10. 侵台颱風頻率增加 | 有點可能 | 0.84 |
| 11. 侵台颱風強度增加 | 可能 | 0.88 |
| 12. 颱風路徑改變 | 可能 | 0.95 |
| 13. 季風系統改變 | 可能 | 0.87 |
| 14. 臭氧層變薄 | 不可能 | 0.80 |
| 15. 洋流系統改變 | 有點可能 | 0.87 |

(三) 環境、社會脆弱性與災害衝擊之關聯

由於氣候變遷的許多現象，如溫度升高等，本身即會造成健康衝擊。過去已經有很多這類型的研究，如文獻回顧中所提到的研究計畫。氣候變遷引致或加遽災害風險的研究則較少，且過去研究沒有考量其他非氣候因素，因此，本文將著重於探討洪災、旱災、海岸災害及坡地災害等天然災害，探討哪些環境、社經脆弱性會加重災害衝擊。因海岸災害定義為發生於海岸地區之各種災害。台灣海岸災害以海岸線退縮(海岸侵蝕)、暴潮造成的淹水(海水倒灌)等為主，所以其社經脆弱性與洪災類似，因此，海岸災害不另外討論其社經脆弱性。本研究邀請社會、經濟、環境與土地利用等領域的專家學者，舉辦「環境、社會脆弱性與災害衝擊之關聯工作坊」，藉由過去社會、經濟、環境與土地利用變遷及災害的資料，探討哪些環境、社經脆弱性因子會加重災害的衝擊。工作坊參加成員之專業與職位如表 3 所示。



表 3. 環境、社會脆弱性與災害衝擊之關聯工作坊參加成員專業表

| 專長領域 | 第一次工作坊－社會變遷、經濟發展 | 第二次工作坊－環境、土地利用變遷 |
|------------|--|--|
| 氣象 | NCDR 氣象組助研究員 | NCDR 氣象組助研究員 |
| 洪災 | — | NCDR 洪旱組助研究員 |
| 旱災 | NCDR 坡地組助研究員 A | NCDR 坡地組助研究員 A |
| 坡地災害 | NCDR 社經組助研究員 A | — |
| 海岸災害 | NCDR 坡地組助研究員 B | NCDR 坡地組助研究員 B |
| 社會變遷 | NCDR 社經組助研究員 B、 國立成功大學老年學研究所副教授、 中央研究院社科中心副研究員 | NCDR 社經組助研究員 B |
| 土地利用 變遷 | NCDR 體系組助研究員 | NCDR 體系組助研究員、 新竹教育大學區域人文社會系助理 教授 |
| 經濟發展 | 中華經濟研究院助研究員 | — |

(四) 台灣未來氣候變遷、脆弱性與災害關聯重要性

由於氣候變遷及環境、社經脆弱性均會影響災害衝擊，為判定不同因素對災害衝擊的影響程度，本研究仍採用德爾菲法，針對前述工作坊成果，依不同災別邀請對此災害有研究的專家學者，進行「台灣未來氣候變遷、脆弱性與災害關聯重要性」專家問卷調查，請受邀專家判斷這些因子在 2030-2050 年左右，對台灣災害衝擊影響之重要性大小。若是共識度經兩次問卷仍未達門檻值，則以虛線的方式呈現，以表示該項目仍需要投入更多研究。填寫災害關聯重要性問卷之專家職位如表 4 所示。

由於工作坊討論出的社經脆弱性，包含許多個人與家戶層級的因素，如社經地位低者、對災害的風險知覺低者等，這類社經脆弱性與環境或整體社會政策，如土地利用不當、水資源缺乏價格機制等因素，的層級不同，難以判斷相對重要性，且個體層級難以預估未來趨勢，故本文並未就某些個體層級的脆弱性對災害衝擊大小作探討。



表 4. 環境、社會變遷與災害衝擊之關聯工作坊參加成員之專業表

| 專家職位 | 災害問卷 |
|----------------------|-----------|
| 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 A | 洪、旱 |
| 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 B | 洪 |
| 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 C | 洪 |
| 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 D | 坡地 |
| 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授 E | 旱 |
| 國立中央大學土木工程學系教授 A | 坡地 |
| 國立中央大學土木工程學系教授 B | 洪 |
| 國立台灣大學大氣科學系教授 | 旱 |
| 國立屏東科技大學水土保持系副教授 | 坡地 |
| 國立臺灣海洋大學河海工程系副教授 | 海岸 |
| 國立臺灣海洋大學河海工程系教授 A | 洪 |
| 國立臺灣海洋大學河海工程系教授 B | 海岸 |
| 國立成功大學海洋科技與事務所助理教授 | 海岸 |
| 國立成功大學水利及海洋工程學系教授 A | 洪 |
| 國立成功大學水利及海洋工程學系教授 B | 坡地 |
| 國立成功大學水利及海洋工程學系教授 C | 海岸 |
| 國立成功大學水利及海洋工程學系教授 D | 旱 |
| 國立中興大學水土保持學系教授 | 坡地 |
| NCDR 氣象組助研究員 | 洪、旱、坡地、海岸 |
| NCDR 洪旱組助研究員 | 洪、旱、坡地、海岸 |
| NCDR 坡地組助研究員 A | 洪、旱、坡地、海岸 |
| NCDR 坡地組助研究員 B | 洪、旱、坡地、海岸 |

參、關聯分析

依災害類別彙整前述的腦力激盪工作坊及德爾菲法成果，可以得到各種災害的關鍵脆弱性與衝擊，據此找出調適氣候變遷災害衝擊的關鍵議題。

1. 洪災

將工作坊的成果繪成如圖 2 的上下因果關係圖，再根據專家問卷的結果將連線、框線寬度表達為重要性。由圖可知，在 2030-2050 年左右，台灣地區洪災衝擊在氣候變遷方面，以「降雨強度增加」重要性最大，因發生的可能性高且與水災發生關聯密切。在環境、社經脆弱性方面，以「地勢低窪地區」、「土地利用不當」等對洪災衝擊的重要性最大，其次為「都市化暴露量增加」、「治水政策效果不佳」、「產業超抽地下水」等。此外，洪災除了直接造成農作與漁獲減損、對身心健康衝擊以外，還可能引發土石流造成坡地災害。水庫蓄水則可能加重洪災衝擊，例如莫拉克颱風侵襲時，曾文水庫洩洪造成下游洪災更嚴重。



臺灣氣候變遷災害衝擊

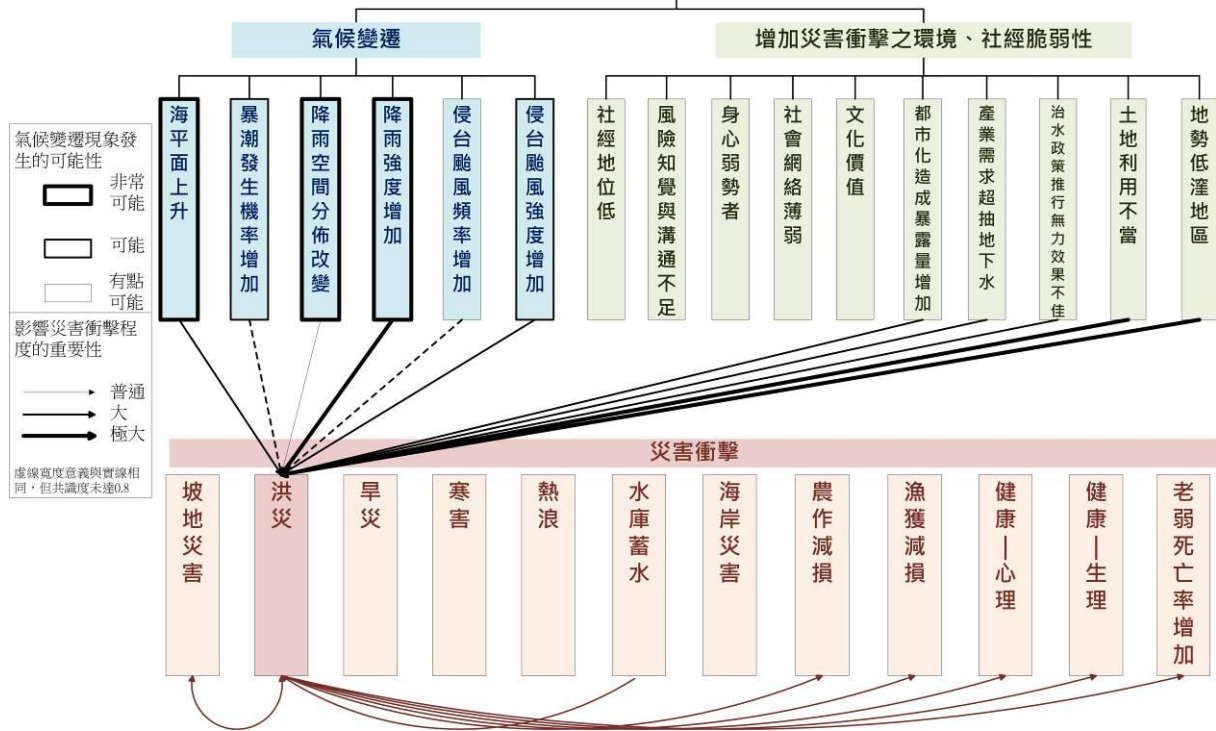


圖 2. 洪災關鍵脆弱性與衝擊關聯圖

2. 旱災

根據工作坊成果與專家問卷結果，在 2030-2050 年左右，影響台灣地區旱災衝擊的脆弱性及衝擊面向如圖 3 所示。在氣候變遷方面，以「平均氣溫上升」最重要。「乾旱發生頻率增加」指氣象乾旱，如不降雨日數增加的現象，雖然與旱災有顯著的關聯，但未來發生的可能性較平均氣溫上升低。在環境、社經脆弱性方面，「水庫蓄水水量減少」為最重要脆弱性，其次為「天然少雨區域」、「土壤含水量減少」、「價格機能失調」、「產業用水需求增加」、「自來水水管老舊」等。旱災通常肇因於長久不下雨，故會造成森林火災、減少水庫蓄水，並因供水不足造成農作減損、休耕影響糧食生產，進而對身心健康造成衝擊。此外，因坡地災害會破壞植被、降低土壤含水，亦會加重乾旱程度。



臺灣氣候變遷災害衝擊

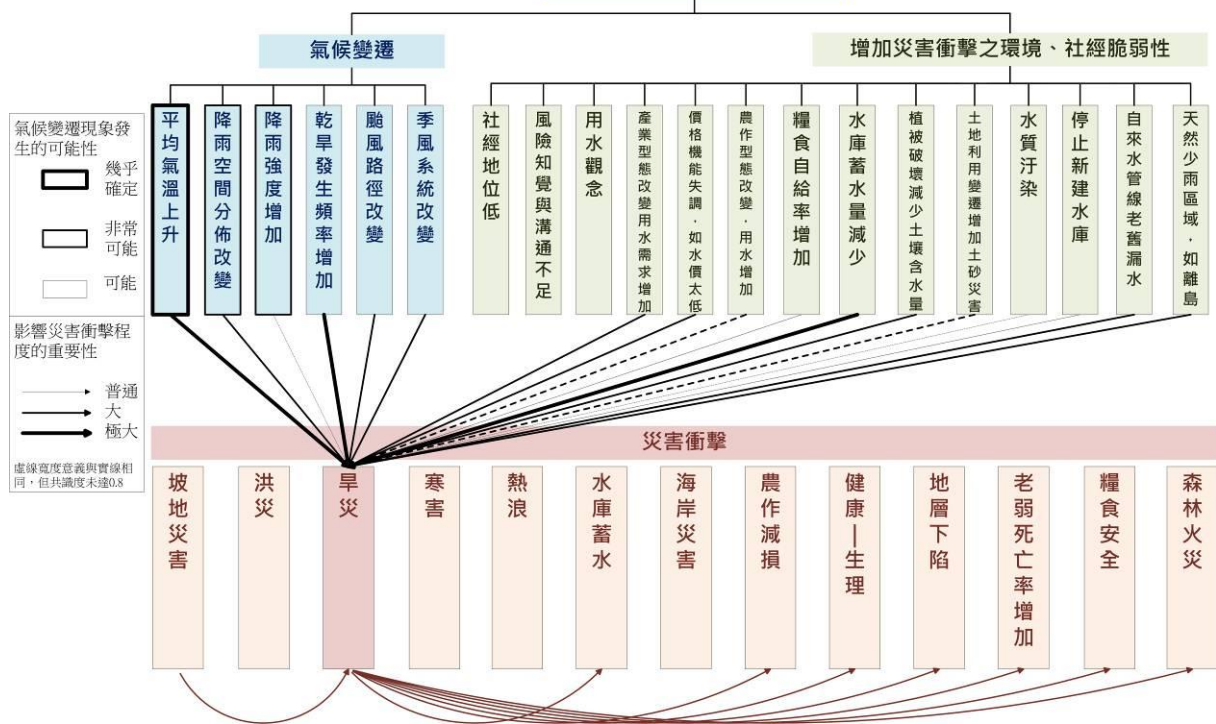


圖 3. 旱災關鍵脆弱性與衝擊關聯圖

3. 坡地災害

根據工作坊成果與專家問卷結果，在 2030-2050 年左右，影響台灣地區坡地災害衝擊的脆弱性及衝擊面向如圖 4 所示。在氣候變遷方面，以「降雨強度增加」重要性最大。在環境、社經脆弱性方面，以「地文脆弱地區」為最重要脆弱性。其次，「高山產業過度發展」、「坡地不當違法利用」、「開發破壞水土保持」、「坡地保育政策不足」、「道路開發不當」重要性較大。坡地災害會造成植被破壞及土砂流失，土砂會淤積於河道或水庫，增加洪災與旱災的衝擊。若坡地災害發生於景觀地區則影響觀光產業。

臺灣氣候變遷災害衝擊

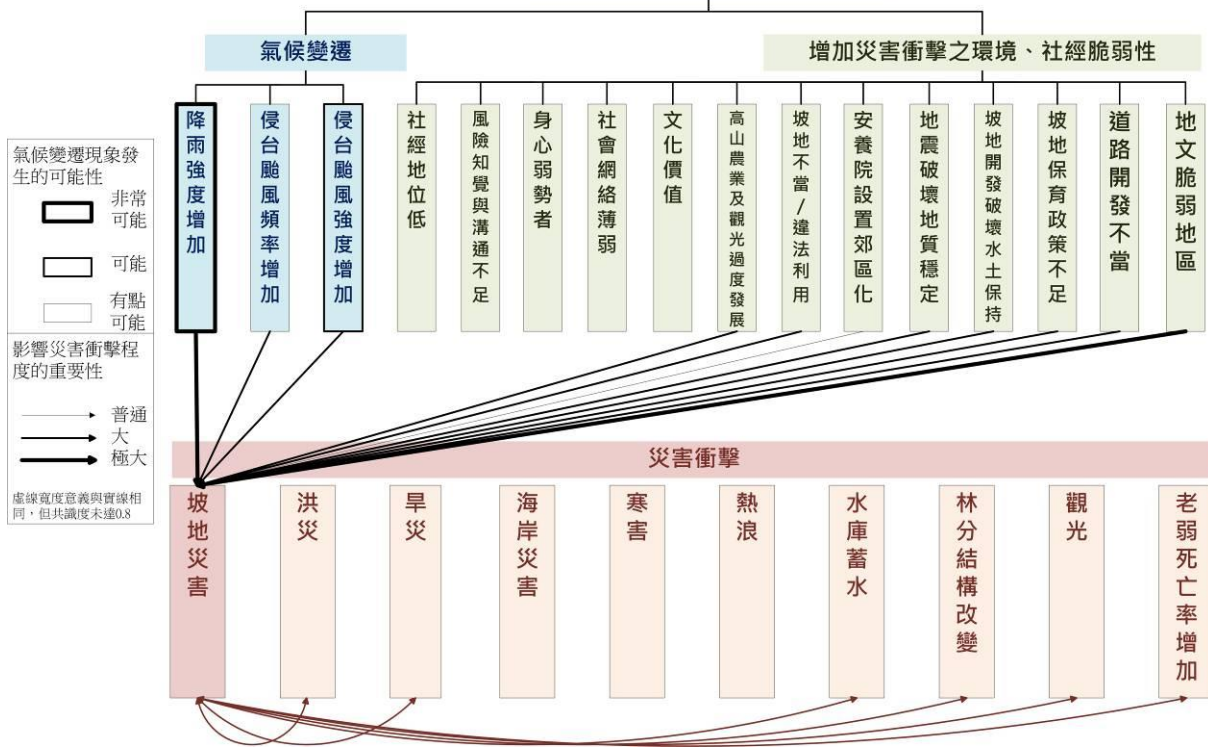


圖 4. 坡地災害關鍵脆弱性與衝擊關聯圖

4. 海岸災害

根據工作坊成果與專家問卷結果，在 2030-2050 年左右，影響台灣地區海岸災害衝擊的脆弱性及衝擊面向如圖 5 所示。在氣候變遷方面，以「海平面上升」最重要，其次為「侵台颱風強度增加」及「海水溫度上升」。「海水酸化」雖在氣候變遷與災害衝擊工作坊中有專家提出，但因參與者有不同意見，故不進行重要性專家問卷。在環境、社經脆弱性方面，「海岸地區開發不當」及「海岸保護措施不當」為最重要脆弱性。其次為「地質脆弱海岸」、「港口規劃不當」、「緩衝帶缺乏」、「沿海養殖業/超抽」、「河川疏砂減少」、「海堤老舊高度不足」、「海岸管理機關」及「海岸汙染應變」。因舉凡在海岸地區之災害皆可視為海岸災害，若為淹水災害則災害衝擊與圖 2 相同。圖 5 主要呈現海岸地區淹水以外的災害，如海岸線變遷、國土流失、潮間帶退縮、海岸污染、生態系統破壞、地層下陷、土壤鹽化、船難等。當海岸地區土地流失將造成國土領域的改變、潮間帶退縮將衝擊潮間帶帶動植物生態、(海岸林)林分結構，而其他海岸災害亦會破壞陸地生態，影響海岸地區觀光產業。



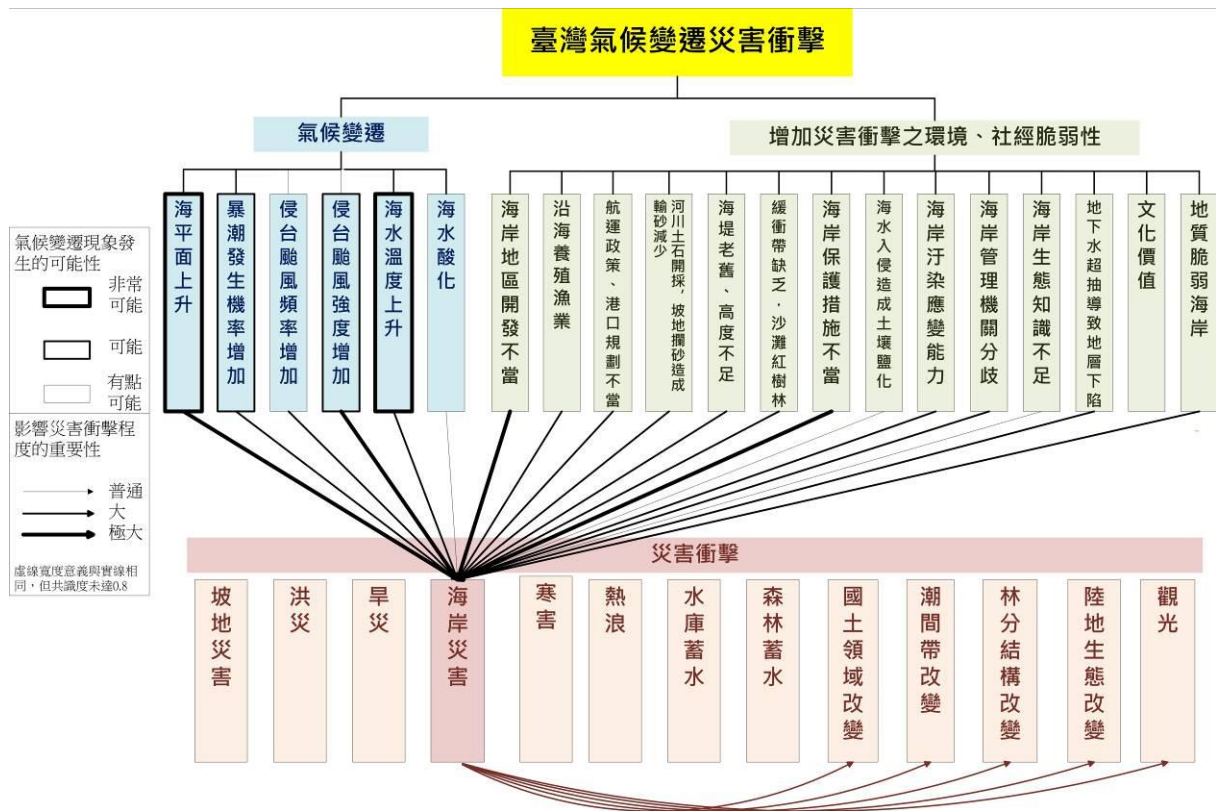


圖 5. 海岸災害關鍵脆弱性與衝擊關聯圖

影響洪災與坡地災害最重要的氣候變遷現象為「降雨強度增加」，旱災則是「平均氣溫上升」，海岸災害為「海平面上升」。這些現象都已經呈現在過去的監測資料中(中央氣象局，2009；Tseng et al., 2010)。根據 IPCC 的評估報告，這些現象很可能會持續百年。災害的衝擊幾乎都包括了人員傷亡(健康—生理)與心理影響(健康—心理)、及農業損失(農作減損、漁獲減損、林分結構改變)。災害也會直接或間接影響生態。此外，坡地與海岸災害則都會破壞觀光資源。坡地災害、洪災、旱災有相互加成的效果。旱災造成的農作減損會進而威脅農業安全。海平面上升島嶼淹沒則會影響(海域)國土領域。若將影響災害的氣候變遷現象及脆弱性進行分類歸納，大致上可以分為以下幾類：

1. 天然環境條件均為各種災害的重要脆弱性，如洪災的「地勢低窪地區」、旱災的「天然少雨區域」、坡地災害的「地質脆弱地區」、及海岸災害的「地質脆弱海岸」。
2. 與土地利用相關的脆弱性亦佔極高比例，如洪災的「土地利用不當」、「都市化暴露量增加」，旱災的「植被破壞減少土壤含水量」，海岸災害的「海岸地區開發不當」、「港口規劃不當」、「緩衝帶缺乏」，以及坡地災害的「高山農業與觀光過度發展」、「坡地不當/違法利用」、「坡地開發破壞水土保持」、「坡地保育政策不足」及「道路開發不當」。
3. 與水資源管理直接相關的脆弱性包括，洪災的「治水政策效果不佳」、「產業超抽地下水」，旱災的「水庫蓄水量減少」、「價格機能失調」、「產業用水需求增加」、「自來水管老舊」，海岸災害的「地下水超抽導致地層下陷」、「河川輸砂減少」。
4. 個人或家戶的災害社會脆弱性包括「社經地位低」、「身心弱勢者」、「社會網絡薄弱」、「風險知覺與溝通不足」、及「文化價值」，文化價值指消費或環保行為的偏好，例如浪費的用水習慣、亂丟垃圾等。



肆、結論與建議

本文主要是透過腦力激盪工作坊及德爾菲法，建立台灣氣候變遷現象與災害衝擊之關聯，並找出天然災害關鍵脆弱性及其衝擊，包括四類災害—洪災、旱災、海岸災害及坡地災害。總結上述，本文提出的結論如下：

1. 降雨強度增加、平均氣溫上升、海平面上升是影響台灣未來災害最關鍵的氣候變遷現象。目前 IPCC 的全球氣候模擬僅有平均氣溫及海平面上升資料，降雨強度增加雖是預期衝擊，但無模擬。降雨強化的變化是台灣急需持續監測及模擬、預測的項目。
2. 地勢低窪、天然少雨、地文脆弱地區為災害關鍵脆弱性。目前國家災害防救科技中心已經繪製各種天然災害潛勢地圖，該地圖便是依據各種災害關鍵脆弱性進行評估，可以供做減災規劃。
3. 本研究顯示加重災害衝擊的環境、社經脆弱性幾乎均與土地利用及水資源管理相關，且坡地災害、洪災、旱災有相互加成的效果。整合管理這些面向應是可以考慮的調適策略，例如蕭代基等(2003)建議的建立流域自治組織，其責任包括水質、水量、土地使用、森林資源、生態環境、景觀、防洪等方面的管理。
4. 各種災害衝擊均會受到社經脆弱性的影響，雖然本文無法評估社經脆弱性的重要性，但提升社經地位低者、身心弱勢者、社會網絡薄弱者的風險知覺、協助其災後復原、及改善不環保價值觀定可減輕災害衝擊。

最後，提出兩點建議供後續研究參考：

1. 侵台颱風強度增加及乾旱發生頻率增加雖未來台灣發生的可能性不是非常高，但兩現象與災害衝擊的關聯相當密切，未來需持續監測及模擬、預測其變化。
2. 部分環境、社經脆弱性與災害的關聯程度非常高，未來應該以災害為主體，考量氣候、環境、社經變遷等因素，量化評估未來不同空間區位的災害衝擊，透過國土規劃、防災政策等降低天然災害衝擊。

參考文獻

- 中央氣象局(2009)，《近百年來(1897-2008)台灣氣候變化統計報告》。台北：中央氣象局。
- 江淑玲、林麗容(2007)，「我國中小企業盈餘管理行為之探索性研究-德爾菲法之應用」，《東吳經濟商學學報》，57卷，79-109。
- 宋鴻樟、柳中明、吳聰能、吳俊霖、駱尚廉、王玉純(2009)，「氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究—子計畫五：氣候變遷對台灣公共衛生的衝擊及脆弱度評估與因應策略」，國科會專題研究計畫，中國醫藥大學環境醫學研究所。
- 周昌弘、陳朝圳、申雍、呂學榮、宋鴻樟、蘇慧貞、蕭代基(2009)，「氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略」，國科會專題研究計畫，中國醫藥大學生態暨演化生物學研究所。
- 行政院環境保護署(2011)，《中華民國 第二版 國家通訊》。台北：行政院環境保護署。
- 張玉成(1988)，《開發腦中金礦的教學策略》。台北：心理出版社。
- 陳龍安(1997)，《創造思考教學的理論與實際(第五版)》。台北：心理出版社。
- 馮正民、詹士樑、白仁德、康熙宗、陳彥仲(2008)，「全球化與氣候變遷下國土規劃之研究成果報告」，國科會專題研究計畫，NSC95-2625-Z-009-006，國立交通大學交通運輸研究所。
- 蔡長泰、童慶斌、何興亞、盧孟明、周仲島、張倉榮、詹錢登、謝正倫、游保杉、張靜貞(2009)，「氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究—總計畫：氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究(II)」，國科會專題研究計畫，NSC 96-2625-Z-006-011，國立



成功大學水利及海洋工程學系。

蕭代基、張瓊婷、郭彥廉(2003),「自然資源的參與式管理與地方自治制度」,《台灣經濟預測與政策》, 34 卷, 1 期, 1-38。

AGO (2006), *Climate Change Impacts & Risk Management: A Guide for Business and Government*, Canberra, Australia: Australian Greenhouse Office.

IPCC (2007a), “Summary for Policymakers,” In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, the UK: Cambridge University Press.

IPCC (2007b), “Summary for Policymakers,” In Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, the UK: Cambridge University Press.

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin, (2007), “Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change,” *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, the UK: Cambridge University Press.

Oppenheimer, M., M. Campos, R. Warren, J. Birkmann, G. Luber, B. O’Neill, K. Takahashi (2014), “Emergent Risks and Key Vulnerabilities,” *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, the UK: Cambridge University Press.

Tseng, Y.H., L.C. Breaker and E.T.Y. Chang (2010), “Sea Level Variations in the Regional Seas around Taiwan,” *Journal of Oceanography*, 66 (1): 27-39.

Yoe, C. (2012), *Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty*, Boca Raton, FL: CRC Press.



Using Brainstorm and Delphi to Assess Key Vulnerabilities of Natural Disasters Related to Climate Change in Taiwan

Yen-Lien Kuo, Yang-Ning Lee

【Abstract】

Most climate change impact assessment researches focus on quantifying the impact of a sector and exclude non-climatic, particularly social, vulnerability. It becomes difficult for making national adaptation strategy. However, there are only temperature, precipitation and sea level rise simulations for climate change scenarios and no long-term forecasts for environmental and social vulnerabilities. The brain storming workshop and Delphi technique are used in this paper to find the relations between the climate change, environmental and socio-economic vulnerabilities and disaster impacts under such uncertainty. The increase of rainfall intensity, the increase of average temperature and the sea level rise are the most important climate change vulnerabilities to flood and landslide, drought and coastal disasters, respectively. Further research and monitoring are required for the intensity of Taiwan invasion typhoons and the frequency of dry spell which are important vulnerabilities to disasters but trends in Taiwan are not clear. Since the key vulnerabilities are mainly related to water resource and land use management, and flood, drought and landslides disasters are correlated and reinforce to each other, the integrated management of flood, water, land and forest resources is necessary.

Keywords: climate change adaptation, vulnerability, Delphi, brain storming

