自然災害風險研究的發展與挑戰

林炯明*　徐勝一**

摘　要

台灣地狹人稠，快速的經濟發展與不當的國土開發，在缺乏永續策略的管理下，對環境造成極大的壓力。加上台灣在氣候與地質條件上本屬自然危害好發的地區，使得災害事件頻仍。

高災害風險地區的災害發生頻繁，如果不能有效地降低災害的衝擊，災害所造成的損失將會影響國家整體的永續發展。從台灣的納莉颱風到美國的卡崔娜颶風，說明了純工程或是科技導向的方法無法完全解決災害的問題。因此我們必須從經濟、社會與環境的整體層面來思考改善方法，以期降低人們在面對危害時的脆弱性。

有鑒於近年來自然災害對於人類社會的重大衝擊，Bogardi 與 Brauch 倡議將「免於危害衝擊（freedom from hazard impacts）」也納入到人類安全的概念中，強調除了經濟與社會層面之外，環境層面的重要性。這也與永續發展的永續環境、永續經濟與永續社會的三個層面相互呼應。經濟、社會與環境之間的衝突不僅是永續發展的核心議題，也是災害風險管理無法迴避的挑戰。綜言之，自然災害不但是過去不適當社經發展下的結果，也將是未來邁向永續發展的障礙。地球系統科學（ESS）與危害-風險-脆弱性（HRV）這兩個跨領域與整合研究的發展方向不但是未來自然災害風險研究的趨勢，也是台灣這個多災環境有效降低災害風險與成功邁向永續發展的關鍵環節。

關鍵字：永續發展、脆弱性、人類安全、災害風險管理、地球系統科學

* 國立臺灣師範大學地理學系博士候選人
** 國立臺灣師範大學地理學系教授

前　言

近年來全球重大自然災害事件頻傳，從 2003 年歐洲的熱浪、2004 年南亞海嘯、2005 年美國卡崔納颶風到 2008 年緬甸納吉斯風災與中國的四川地震，足見自然災害在不同的時間與空間以各種的形式與強度威脅著全球民眾的生命與財產。過去普遍認爲重大自然災害總是發生在落後地區或是開發中國家，因爲這些地區或國家不論在經濟、科技與制度層面的防災與救災能力都遠不及已開發的先進國家。然而從近十年全球發生的重大自然災害案例中可以發現，自然災害在許多先進國家所造成的災損並未隨著經濟與科技的進步而減少，甚至有增加的現象（van der Link *et al*., 1998）。

災害風險管理的概念早在 60 年代被提出，到了 80~90 年代已逐漸發展成爲一個成熟的學門。早期的研究多著重在自然因子的研究，如洪水的規模、頻率與防洪工程設計的研究。但近十多年來可以看出，純科技或工程的手段在面對自然危害的威脅時，經常陷入無能爲力的窘境。不論是台灣的納莉颱風或美國的卡崔娜颶風，其帶來的災害損失以及颱風本身的路徑與強度皆改寫了歷史紀錄。台北市兩百年頻率的防洪設計擋不住納莉颱風破紀錄的降雨強度；紐奧良市三級颶風標準的堤防也無法抵抗五級的卡崔娜颶風。「人定勝天」似已不再。從災害風險管理的角度來看，「人定勝天」並非不可能，只是代價太高，不符合成本效益。理論上我們也可以將台北市的防洪工程提升到千年以上的洪水頻率，但所需的工程經費是否爲政府所能負擔？這樣的方式是否會排擠到其他更迫切的國家建設或社會發展需求？這些都必須從國家整體的財政能力與發展方向來考量。這也就是災害風險管理的目的：找到最經濟的方法，將有限的資源投注在風險最高的地方，以便將災害的衝擊減到最低。

既然我們不可能毫無限制地將資源投入在超高標準的防災工程上，最實際的做法便是從風險管理的角度入手。然而要達到有效的風險管理就必須在災害發生之前對於災害可能造成的人員傷亡或經濟損失進行預測，即所謂的災害風險評估。災害風險評估最重要的第一步就是針對災害的外部（自然）因子的本質與時空特性進行分析。例如利用數值模式或災害統計的方法計算出某地區可能受到危害威脅的機率與強度，人員與經濟活動就可以儘量避免在這些可能受災的區域內進行。但現今全球面臨的共同困難是，這些區域很多都已經有了聚落或經濟活動，且難以遷移，2005 年遭卡崔娜颶風重創的紐奧良市即是一例。在聚落與經濟活動無法避開外部（自然）危害的現實情況下，災害的內部（人文）因子就成爲降低災害損失思考的方向。

本文擬就目前國際自然災害風險研究的發展、挑戰以及減災與永續發展的關係進行論述。第一部分由自然災害風險的構成要素切入；第二、三部分的內容爲災害的自然因子（外部危害）與人文因子（內部脆弱性）的發展歷程與問題評析；第四部分就降低災害風險與永續發展的關係進行論述；第五部分介紹台灣目前的自然災害的特性；第六部分就現今國際災害風險研究所面臨共同問題與台灣未來災害風險研究的方向提出看法與建議。

自然災害風險的構成要素

從災害風險的構成要素來看，一個災害事件乃由以下的三個條件構成：危害的存在、人員或財產等承災體暴露在該危害的影響下，以及承災體對於該危害的承受能力。以颱風災害的發生爲例，首先必須有颱風的侵襲，其二是人員或財產暴露在該颱風的影響範圍內，其三則是人員或財產無法承受該颱風的負面衝擊。因此災害可以說是危害、暴露與脆弱性三者的函數：Disaster＝F（Hazard, Exposure, Vulnerability）。由式中可以看出，災害研究的範圍橫跨了自然科學與人文社會的領域，例如危害的強度頻率與機制研究即屬於自然的領域。而不同的社會與經濟特性的承災體在面對外在危害壓力時，所呈現的適應力（adaptation）、彈性（resistance）等脆弱性研究則屬於人文的範疇。災害風險評估（Disaster Risk Assessment）即是針對上述的三個要素進行調查與分析，包括自然危害發生的時空機率（hazard）；民眾、公共建設、經濟活動等承災體的暴露計算（exposure）與承災體的脆弱性研究（vulnerability），以提供決策者做爲制定防災策略的依據（Dilley, 2002）。

萬慶等（1999）將自然災害的研究理論歸納爲四類，包括致災因子論、承災體論、孕災環境論與區域災害系統論。致災因子論強調致災因子，也就是（危害）是引發災害的決定因素，著重致災因子的物理機制研究，包括強度、規模與頻率等。承災體論則認爲承災體本身的脆弱性程度是災害發生與否的主要關鍵，即災害的發生是源自於承災體內部固有的脆弱性，致災因子只是將其彰顯出來而已。孕災環境論是以自然環境的狀態與人文環境的變化爲基礎，在此之下考慮各種致災因子與承災體之間的關係，目的在於評估環境變化下各種災害發生的臨界值。區域災害系統論則結合上述致災因子、承災體與孕災環境來對區域減災進行綜合性的分析。而不論是那一類理論，研究的主體都不外乎於災害風險的構成要素，只是強調的主次關係與研究重心有所不同。

災害的三個構成要素中，危害是目前科技難以改變的部份，例如颱風與地震的發生。另外兩個要素則是我們可以改善的部份。我們可以透過與降低社經面對災害的脆弱性（圖 1 左）與減少各種社經要素暴露在自然危害下的程度（圖 1 右）等兩個途徑達到降低與避免災害風險的目的：

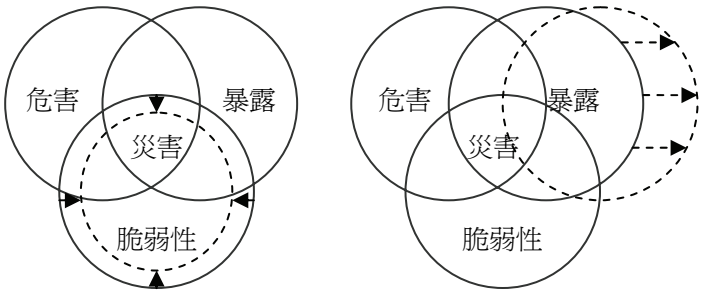


圖 1　降低與避免災害風險的示意圖（本研究繪製）

例如山坡地或低窪地區禁止蓋房子或從事經濟活動便可避免人員財產暴露在土石流或淹水的風險下。若聚落或經濟活動已無法遷移或停止，則必須降低聚落或經濟活動面對災害的脆弱性。避免風險雖然是災害風險管理的最有效的方法，但許多實際的情況是聚落與經濟活動已無法遷移，例如受到北海暴潮與萊茵河下游氾濫威脅的低地國荷蘭以及位於地震帶和西北太平洋颱風往來頻繁的台灣。因此就必須從降低承災體面對災害的脆弱性著手，例如加強高災害風險地區的防災建設與災害天氣預報，建立相關的防救災機制等。

綜言之，災害風險的構成要素也正是風險管理的對象。而風險管理的手段包括避免、降低與轉移等。避免風險即是避開危害或是減少暴露，降低風險則是降低承災體的脆弱性，轉移風險則可以藉由保險（如颱風地震險）達到減少損失的目的。接下來擬就災害風險的自然因子（外部因子）與人文因子（內部因子）進行論述。

自然災害風險的外部因子－危害

一、發展歷程

自然災害（natural disaster）泛指具脆弱性（vulnerability）的人員或財產暴露（expose）在颱風、地震等自然危害（hazard）下所造成的生命或財產損失（Smith, 1996）。因此自然災害並不是一種“純自然”的現象，而是自然危害與人類社會相互作用下的結果。過去人們普遍將颱風、洪水與地震等危害視爲一種“自然”現象，也就是完全由自然力驅動而與人類活動無關。事實上，有些自然現象確實幾乎不受人類活動干預，例如地震、火山爆發與海嘯；有些則已被證實與人類的活動有關，例如近半個世紀的全球暖化現象。根據聯合國 ISDR[1] 統計 1900-2005 年間，全球有紀錄於 EM-DAT[2] 資料庫的三大類型自然災害，包括生物類（biological）、地質類（geological）與水文氣象類（hydro- meteorological）的結果顯示，相較於其他前兩類的災害，全球受到水文氣象類自然災害影響的人口最多，佔了九成以上的比例。其中又以水文氣象類的災害頻率的增加幅度最爲明顯。

從近百年 EM-DAT 所紀錄的自然災害事件可以看出，近 50 年的災害數量明顯較前 50 年增加許多，尤其是水文氣象類的災害在 90 年代後更是大幅增加。從全球的氣溫變化來看，近 50 年的暖化程度也是近千年中最高的，遠高於過去任何 50 年的平均值。全球平均氣溫最高的十年也全都出現在最近的 12 年之中，也就是全集中在 90 年代後。將全球平均氣溫與水文氣象類的災害頻率相互對照來看，近 50 年水文氣象類災害的大幅增加與全球暖化呈現一致的趨勢。特別是在 2003 年歐洲的熱浪造成近 2 萬人死亡後，全球暖化與極端天氣的關連性更加引起注意。

全球暖化是否是造成水文氣象類災害大幅增加的罪魁禍首？這個“大哉問”引出了幾個重要的論題，包括全球暖化的科學爭議、極端天氣是否伴隨著全球暖化而增加？災害事件究竟是天災還是人禍，孰輕孰重？首先從全

[1] International Strategy for Disaster Reduction（聯合國國際策略減災中心）

[2] Emergency Disasters Data Base（比利時災害疫病研究中心全球災害資料庫）

球暖化來看，不論是從觀測資料或是最新的模式模擬結果，暖化是不可否定的事實。2007 年 IPCC 第四次氣候評估報告匯集了全球數百篇專家的研究成果，採用的模式由過去的大氣模式提升到海氣偶合模式，模式不但更多也更完整，尺度也從全球尺度縮小到洲際尺度。本次報告將近百年暖化的數據上修至攝氏 0.74 度（1906-2005 年），高於第三次報告的 0.6 度（1901-2000 年）。至於最具爭議性的議題：暖化究竟是地球氣候系統的自然變化（natural variation）還是人為活動所造成？報告中 MIROC3.2 、 PCM 、 UKMO-HadCM3 與 GFDL-R30 等四種模式的模擬也給出了明確的答案：雖然氣溶膠與其它的自然因素造成了部份冷卻效應與氣溫的變化，但其效應仍比溫室效應小，人為排放的溫室氣體仍是造成本世紀暖化的主因（Hegerl *et al*., 2007）。

在極端天氣方面，過去百年雖然全球氣溫普遍上升，但豪雨、乾旱與熱浪等極端天氣卻沒有一致的趨勢。例如 2006 年荷蘭、比利時的高溫熱浪造成了 1940 人死亡，同在歐洲的烏克蘭同年卻爆發強烈寒潮，造成 801 人死亡。台灣也是相同的情況，2003 年台北市創下 37.7 度的高溫，而 2005 年全台又受到低溫的影響，降下罕見的 3 月雪，連屏東山區都有降雪紀錄。綜言之，雖然全球大尺度區域的平均氣溫皆有上升的趨勢，但在中小尺度地區的氣溫變化卻有升有降，全球陸地的冷暖旱澇也沒有一致的趨勢。雖然許多的研究顯示全球暖化將使得自然危害的頻率與強度增加，例如 Emanuel（2005）由颱風的生成機制與模式模擬指出，海溫的升高將更有利於颱風的發展，使得颱風的強度更強。Webster 等人（2005）統計近 30 年來全球強烈颱風與 4 級以上的颶風數量確實也都呈現增加的趨勢。即使如此，科學界仍然無法將所有的異常或極端天氣事件與全球暖化劃上等號，也無法準確預測上述現象發生的時空分布與強度。

基於這樣的不確定性，使得自然災害的問題變得更為複雜。特別是在減災（disaster reduction）作為與追求經濟成長相互牴觸的情況下，人們經常以天災的不確定性做為擋箭牌，因而提高了人禍的風險。小如一個坡地或是行水區的開發問題，大至美國拒簽京都議定書皆是如此。既然科學的不確定性無法讓我們百分之百的預測（prediction）危害的發生與否，那我們就必須以風險的觀念來從事。事實上 IPCC 的推估（projection）就是一種風險的概念，也就以危害的發生機率以及損失的期望值來決定我們面對災害的準備與決策。例如在全球暖化的推估上，IPCC 即是假設未來幾種不同的政經發展下，計算出全球可能排放的溫室氣體總量，再帶入大氣數值模式進而得到各種不同的模擬結果，此即所謂的情境模擬。因此情境模擬的目的不在於預測或斷言未來必定發生的事，而是推估未來可能發生的各種情況，以便讓我們由這些未來可能發生的情況來決定現今的施為與未來的因應策略，因此情境模擬即蘊含了機率與風險的概念。風險的觀念讓我們跳脫科學不確定性的爭議，改以機率評估與損失控管的方式來面對災害問題。這也是現今國際上，以風險概念來進行災害管理蓬勃發展的主要原因。

二、問題與評析

從目前科技能力的角度來看，颱風、地震與極端氣溫、降水等諸多自然危害仍具有相當程度的不可預測性，也就是在科學的本質上都

具有很高的不確定性。加上現今的災害問題並不是單純的科學問題，也是人類選擇的問題。從全世界影響人口最多的水文氣象類災害來看，近百年全球暖化造成的異常氣溫（寒潮與熱浪）與降水（乾旱與水澇）已經直接或間接被證實與人類活動有關。自 1750 年工業革命以來，大氣中二氧化碳濃度已增加了 31%，甲烷濃度增加了 175%，兩者均是四十二萬年來的最高值。二氧化碳含量在二百多年中就增加了約 1/3，甲烷更是以倍數增加。和過去自然機制所產生的量相比，人爲因子的影響相當明顯。不論從時間序列或是空間分布上的變化來看，氣候模式模擬的結果均指出目前所觀測到的氣候變遷現象主要是由於人類活動所排放出過量的溫室氣體和氣溶膠（aerosol）所引起，而近百年增溫的幅度也可能是近一萬年以來的最大值。由於溫室效應的主要氣體二氧化碳，其生命週期可達百年之久，因此即使全世界所有的國家現在立即停止排放溫室氣體，到 2100 年以前，氣溫也仍將持續上升。事實上在新的替代能源出現前，想要全面停止溫室氣體的排放根本是不可能的事，更何況目前全球溫室氣體的排放量仍然不斷地在增加。由過去數十萬年來以來的古氣候研究顯示，大氣中溫室氣體含量的變化與氣候的變遷息息相關。而溫室效應的持續增加將可能成爲加速催化地球氣候變遷的重要因素。這已經不是一種猜想或臆測，而是各種氣候模式以目前的排放趨勢所模擬出來的結果。我們似乎已經爲自己與後代子孫種下了一個瀕危而不可知的未來。

1980 年代以前，自然環境的各種危害被認爲是破壞人類社會與經濟發展的原因，因此必須以工程科技的方法加以干預甚至予以對抗（Hilhorst and Bankoff, 2004）。環境被認爲是颱風、地震等各種危害的根源，也就是單向地將環境視爲致災因子，人類則是所謂的承災體。在此觀念下環境與人類是相互對立的，而沒有考慮到人類活動對於環境的不當利用所產生的負面效應（即人既是承災體也是致災因子）以及人類社會本身固有的脆弱性。

從整個自然災害的思惟脈絡發展來看，1970 年代以前人們認爲自然災害的頻率與強度是由上天決定，人類沒有選擇的權利。1970 年代後隨著科技能力的大幅進步，人們認爲可以憑藉科技與工程的力量克服災害，人定勝天與工程導向成爲抗災的典範。然而 1982~1983 年世紀聖嬰（ENSO）在全球造成嚴重災情，從西太平洋泰國、馬來西亞與澳洲的乾旱到東太平洋的水患、颱風，全球經濟損失超過 80 億美元。自此人類已清楚意識到工程導向無法完全解決災害問題，這也是 1980 年代後災害社會學與脆弱性研究大量興起的原因。1990 年代後全球環境變遷的研究證明了人類社經活動與環境災害之間的高度相關性，災害風險研究因而轉向至現今的綜合風險管理與永續發展的方向。思惟與典範的轉變（詳如圖 2）顯示我們已經認知到自然災害並非外部危害單向的作用，而是自然因子與人文因子共同作用的結果。

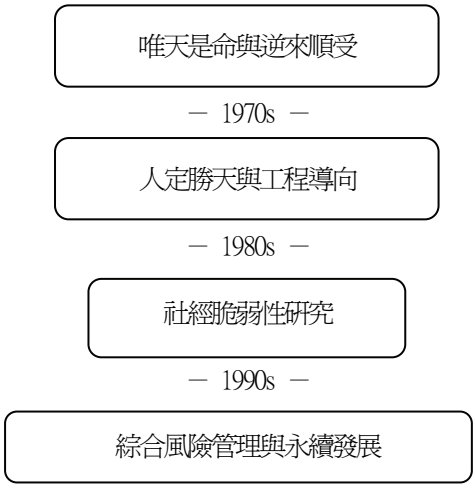


圖 2　自然災害風險研究思維與方法的轉變（本研究繪製）

除了外部危害的直接風險外，近年來全球環境變遷的研究一再證明了人類活動對於環境的重大影響。黃朝恩（2000）也明白指出人類活動往往會激化自然災害的發生；Changnon 等人（2000）的研究顯示，導致美國近 50 年天氣災害經濟損失增加的主要原因並非颶風與洪水本身的強度增強，而是在於人口成長、社經變化與不當的區位選擇。因此在衡量一個災害事件時，必須同時考慮自然與人文的向度。既然我們無法有效預測或消除未來外部危害（如氣候變遷下的冷暖旱澇）的威脅，如何從人文因子的層面來減緩未來可能的災害衝擊，將是現今最迫切、也最可行的思考方向。以下擬就自然災害的內部因子，也就是脆弱性的部份進行論述。

自然災害風險的內部因子－脆弱性

一、發展歷程

美國著名的地理學家 Gilbert White 早在 40 年代指出，純工程或是科技導向的方法無法完全解決災害的問題，並主張應該多聚焦在社會、經濟與政治層面的改善方法，也就是災害風險的內部因子。他認為人的因子和物理、工程的因子都是同等重要（The people factors need to be examined in harmony with physical and technical factors）。從這幾年災害研究的發展歷程來看，確實也驗證了 White 的前瞻性看法。人類社會的脆弱性會因其性質的不同而對相同的自然危害產生不同的衝擊程度。因此近年來以脆弱性為導向（vulnerability-led approach）的災害研究大量興起（林冠慧，2004)。脆弱性導向的研究是分析社會、經濟與環境在面對危害衝擊時可能的災害程度。相對於脆弱性導向的研究，衝擊導向（impacts-led approach）的研究主要在分析危害（hazard）的物理本質與機制。2004 年的印度洋海嘯與 2005 年的卡崔納颶風造成的社會衝擊再次地說明災害的人文面向與自然面向同等重要（Anderson, 2007）。社會在面對災害衝擊的行為與識覺（perception）往往會影響其對於災害的承受度與未來的風險管理決策。White 在 40 年代所強調與災害有關的社會因素與社會在災前的調適行為，即與現今的脆弱性研究或災害社會科學發展的概念相當一致。

關於脆弱性一詞的定義繁多，研究架構也各異。綜觀各種與自然災害有關的脆弱性研究可以看出，各學派最大的交集仍僅是將脆弱性視為災害風險的內部（人文）因子，也就是將脆弱性認為是存於人類系統內部的一種特性，包括社會制度、經濟體系與災害識覺等都是構成脆弱性的一部分。從災害風險的角度來

看，脆弱性分析就是要探究不同的系統在面對外部危害的影響下，所可能產生的災害衝擊程度。不同的學派對於脆弱性的定義與研究架構均不相同。Birkmann（2006）曾將國際主要的脆弱性研究架構做了詳盡的介紹，本研究參考其架構分類並加以比較評析如下：

（一）雙結構架構（The double structure framework）

Bohle（2001）從社會地理的觀點將脆弱性分為兩個部份：一是系統暴露於外部壓力的程度（exposure to external stressor）；二是系統本身的應變能力（coping capacity），也就是對於危害衝擊的抵抗與復原能力。因此一個系統的脆弱性程度乃是由外部的暴露壓力與內部的應變能力共同來決定。在大多數的災害風險研究中，暴露通常指的是人員或財產在空間上受到地震、颱風等危害威脅的程度，強調的是物理空間暴露。2005 年世界銀行發布的「自然災害熱點：全球風險分析」的研究報告中即是計算人口與 GDP 在物理空間上暴露於六種自然危害下的程度。而 Bohle 這裡的暴露則是包含了人類生態學（human ecology）、權力理論（entitlement theory）與政治經濟學的意涵。因此除了暴露在地震帶或颱風侵襲路徑上的人員或財產具有物理上的脆弱性外，被排除在社會網絡的次團體或弱勢團體（例如在都市內部與邊陲的貧困社區或是鄉村的孤立聚落）也具有較高的脆弱性。

（二）災害風險架構（The disaster risk framework）

災害風險學派將危害、暴露與脆弱性視為構成災害三個基本要素（Dilley, 2002）。Crichton、Granger 與 Peduzzi 等人（1999、2003、2002）將上述三要素稱為所謂的風險三角（The risk triangle），即 Risk＝Hazard × Exposure × Vulnerability。Davidson（1997）與 Bollin（2003）等人則將上述三要素再加上“應變能力與措施”視為構成災害風險的四個要素。危害是指如颱風、地震發生的機率與其強度，暴露為受危害影響的人口、設施與經濟活動；脆弱性包括物理（質）的、社會的、經濟的與環境的脆弱性；應變能力與措施則包括防救災的計畫、管理以及社會與經濟的抗災能力。相對於 Davidson 正面的“應變能力與措施”定義，Villagran de Leon 改以負面的“災前準備不足（deficiencies in preparedness）”來定義，並將暴露的概念包含在危害之中。因此風險乃由危害（含暴露）、脆弱性、準備不足等三要素構成。

在聯合國國際減災策略（International Strategy for Disaster Reduction）發展的減災架構中，災害風險的因子分為危害與脆弱性兩大項，脆弱性的概念也區分為物理（質）的、社會的、經濟的與環境的四類。本架構脆弱性分析的方法是透過風險確認（risk identification）與衝擊評估（impact assessment）的方式來增加民眾的災害意識，並促使相關的防災政策與制度發展。即透過國際、國家與地區等不同層級的政策立法與制度管理，落實至環境管理與物理工程手段等層面的減災作為，進而達到降低災害衝擊的目的。在 ISDR 的架構中有幾個問題尚待釐清：第一，暴露因子未清楚定義；第二，架構中由脆弱性分析單向性地指向風險確認與衝擊評估，續由政治、制度與環境管理、社經發展與工程手段透過復原（recovery）指回風險確認與衝擊評估，再透過早期預警、災前準備與急難管理（emergency management），最後達到降低災害衝擊的目

的。然而脆弱性分析單元在單向性地指出後就未再指回，因此不但沒有說明如何降低脆弱性（僅說明如何降低災害衝擊），也看不出脆弱性與災害風險兩者之間的關係。換句話說，本架構的設計雖然可以達到降低災害衝擊的目的，然而卻沒有說明如何降低脆弱性；第三，雖然降低災害風險與永續發展都是在處理經濟、社會與環境之間的問題，但降低災害風險多是著眼在立即的、速效的“當代”減災施爲。相對地，永續發展除了處理當代的問題外，也必須考量“未來世代”更爲深層的經濟、社會與環境的跨世代公平正義的關係，這也是在從事當代減災施爲中，經常被忽略的一部份。本架構雖將降低災害風險的整個框架包絡在永續發展之內，但並未進一步說明降低災害風險的施爲如何符合或達到永續發展的目標。

（三）永續生計架構（The sustainable livelihood framework）

本理論架構主要源自 Chambers and Conway（1992），並由英國 DFID（Department for International Develpoment）發展而成（DFID, 1999）。主要應用的對象是世界上極度貧窮的地區或國家，因此居民生計的維持是決定其脆弱性最重要的關鍵。本架構由 Human、Natural、Financial、Physical、Social capital 等五個基本的生計資本（源）出發，透過政府或私人部門的政治、文化與制度的過程，以期發展出一套可持續維持居民生計的策略，進而達到降低脆弱性的目的。在此架構下，一般被視爲風險外部的危害（hazard）並不獨立呈現，而是被包含在脆弱性的概念中。對於極度貧窮與落後的地區而言，危害愈頻繁，一級產業的生計資本（源）被破壞程度也愈大，因此脆弱性相對地也愈高。

（四）政治經濟學派（The school of political economy ; PAR model）

本架構強調政治與經濟系統對於脆弱性的重要性，也就是將政治與經濟系統視爲決定脆弱性程度的根本因素。Wisner 等人（Wisner *et al*., 2004）認爲危害與脆弱性是構成災害風險的兩大要素（Risk = Hazard × Vulnerability)。而脆弱性的產生乃由系統的根本因素（root causes）透過動態的壓力過程（dynamic pressures）最後達到不安全的狀態（unsafe conditions)：

1. 根本因素－包括政治、經濟系統、有形資源與無形資源的可及性等；
2. 動態的壓力過程－如人口變化、都市化與土地退化等；
3. 不安全的狀態－區分爲經濟、社會、環境等層面。經濟層面的不安全包括低收入、基本生計的不穩定等，這個現象在貧窮或落後的地區特別明顯，人們往往因爲營養不良或是缺乏醫療資源而具有很高的死亡率。社會層面的不安全則包括婦孺、獨居老人以及偏遠地區的特定族群，這些弱勢族群除了本身體能與健康狀況較需仰賴外界協助外，偏遠地區的少數族群也往往不在政府的防救災網絡可及的範圍內。環境層面的不安全包括不當的聚落位置或是聚落缺乏適當保護設施，例如在沒有堤壩的易洪泛低窪地區蓋房子，或是在颱風侵襲地區的茅草屋皆屬於此類。而政府與民眾缺乏防災應變與準備的能力也是導致不安全狀態的因素之一。

相對於 RH（risk-hazard）強調災害的衝擊主要來自於外部危害的存在，如圖 3。PAR（pressure-and-release）模式則強調災害的發生

主要源自系統內部固有的脆弱性。前者強調災害的發生是從外而內，脆弱性的概念是內隱的；後者則強調災害的發生由從內而外，脆弱性的概念是外顯的，如圖 4。

PAR 模式認為一個系統所面臨的風險是否會發展成為災害端視其壓力的增加與釋放之間的狀況。雖然在分析的概念上清楚地說明了脆弱性的衍生機制，也十分強調政治、經濟系統等根本因素對於決定脆弱性程度的重要性。然而不論是根本因素、動態的壓力過程或是不安全的狀態都很難以一般化的定量方式來估算，這也是許多脆弱性研究在指標量化時所面臨的共同困境。

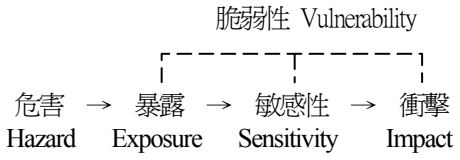


圖 3　RH 模式，整理改繪自 Turner 等人（2003）

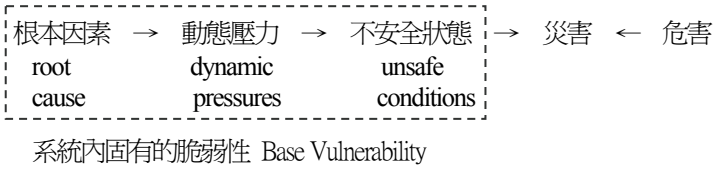


圖 4　PAR 模式，整理改繪自 Turner 等人（2003）

（五）洋蔥架構（The onion framework）

本架構以類似洋蔥的多層次概念來分析脆弱性：最外層為自然事件，中間層為經濟，內層則為社會。接著以實際軸（reality axis）與可能軸（opportunity axis）等兩個分析軸由外而內切入，機會軸與外、中、內三層的交會分別是危害、風險與脆弱性；實際軸與外、中、內三層的交會則為事件（event）、損失（damage）與災害（disaster）。將機會軸與實際軸對應來看，危害對應事件，風險對應損失，脆弱性對應災害，如圖 5（Bogardi and Birkmann, 2004）。舉例來說，在土地利用方式不當的情況下，一個洪水危害就可能發展成為一個洪水事件；同樣地當風險無法避免時，就會有經濟損失發生；而當社會不足以應付危害衝擊時，就會發生災害。因此一個洪水事件是否會發展成為災害除了與洪水本身的自然本質有關外，社會的準備與應變能力也是重要的決定因素。Bogardi 與 Birkmann 進一步將社會層依其不同的能力由外而內再分為 C1~C3 三層，其中 C1 代表社會具有較好的應變能力，C3 則代表社會應變能力不足。

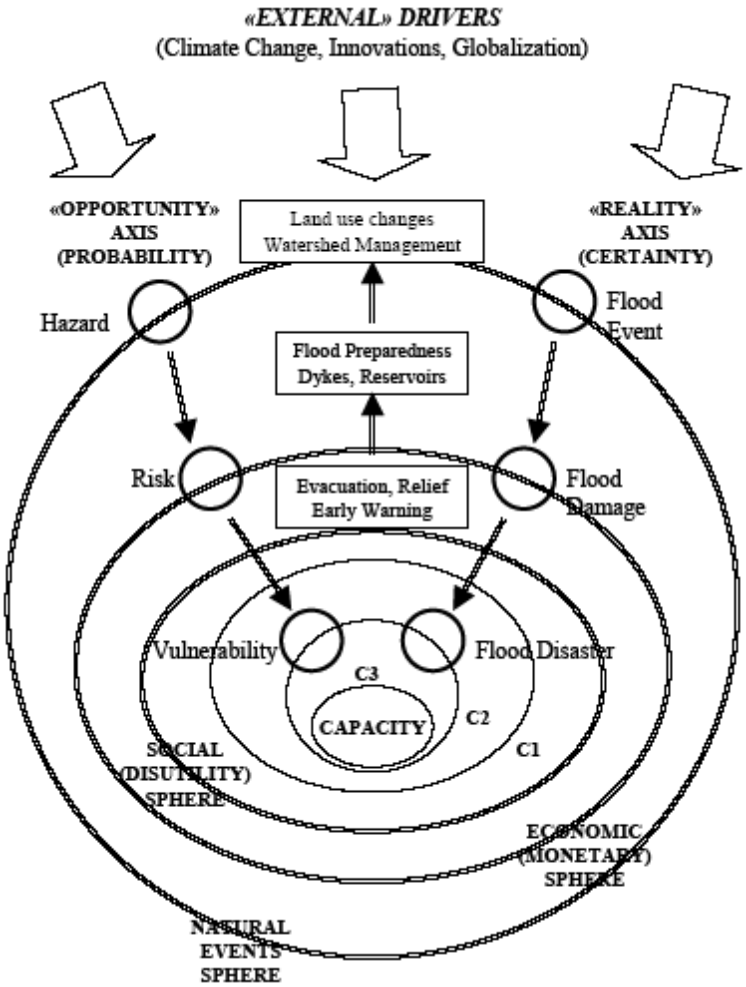


圖 5　洋蔥架構，引自 Bogardi and Birkmann(2004)

本架構將危害、風險與脆弱性以自然、經濟與社會等三層結構來表達，當衝擊侵入最內層的社會（C3）時，才認定是所謂的災害。也就是說，雖然一個洪水事件會造成經濟損失，但若其社會功能仍可正常運作，則不認定爲災害。而社會層除了有形的資產外，也包括無形的資產。例如罹難者遺眷的心理創傷以及災民對災害的陰影也都是構成災害的一部份，這些人可能因爲災害事件而影響其心理狀態與正常生活的能力。值得注意的是，環境的脆弱性與暴露的概念在此架構中並未說明。

（六）跨領域方法（The holistic approach）

本架構認爲應該從全面的跨領域觀點來分析風險與脆弱性，而非偏重單一的自然危害（hazard dependent）或人文社經的（non hazard dependent）角度。並強調除了災害的直接衝擊與有形影響外，災害的間接衝擊與無形影響也必須考慮。這裡將脆弱性分成三個部份來分析：

1. 暴露與易受性（susceptibility）－指暴露在危

害下的設施與環境可能受到的損害，屬於直接的物理衝擊。因此被視爲與危害相依（hazard dependent）的部份，屬於“hard risk”。

2. 社經的脆弱程度（fragility）－指社經面對衝擊時“被動”受影響的程度，本部份與危害無相依的關係（non hazard dependent），屬於“soft risk”。
3. 缺乏彈性（resilience）的應變與復原能力－指社經面對衝擊時“主動”的處理能力，本部份亦與危害無相依的關係（non hazard dependent），屬於“soft risk”。

這裡也可以看出 susceptibility、fragility 與 resilience 都是涵蓋在 vulnerability 的概念之內，susceptibility 屬於物理（質）的脆弱性，fragility 與 resilience 則是屬於社經的脆弱性。從風險的角度來看，暴露與脆弱性都是 hard risk 存在的必要條件，脆弱性是指房屋或道路暴露在如颱風、地震侵襲下可能造成的損壞程度。換句話說，完全不受危害影響的房屋也就沒有 hard risk；不堅固的房屋但若不在颱風、地震的影響範圍內也不具有 hard risk。至於 soft risk 則是社經面對衝擊時被動受影響的程度與主動應變與復原的能力。因此 hard risk 加上 soft risk 即爲整體風險的總和。

（七）BBC 架構（The BBC framework）

本架構源自 Bogardi and Birkmann（2004）與 Cardona（1999），強調應將脆弱性分析視爲一個動態的過程，也就是必需同時考慮脆弱性、應變能力與其他可能的影響機制，而不僅僅只是計算過去的災害損失或是靜態的脆弱性。因爲人類在面對外在危害威脅時，社經系統會根據過去的受災經驗與現在的能力在危害侵襲之前與侵襲當中產生相對的作爲，也就是具有某種互饋的機制，以便減輕災害衝擊（即降低脆弱性）。由於上述的動態特性與互饋機制會因不同的對象與時空尺度而異，因此研究者必須透過不同層次與尺度的脆弱性分析，以便了解社經應變能力與協調機制的運作，才能真正達到降低脆弱性的目的。關於暴露的概念，BBC 架構既不像災害風險學派將其與脆弱性完全分開，也不像 Bohle 的 double structure framework 將其明確定義爲構成脆弱性的外部要素，而是將其視爲與脆弱性“部分相關”的要素。本架構也涵蓋許多不同學派對於脆弱性的概念，特別是永續發展的部份，因此在分析的概念上也是分爲環境、社會與經濟三大部分。相對於部分學派將環境定義爲狹義的“危害環境”（即颱風、地震或山崩等自然危害的“源”），這裡的環境乃是採用永續發展的廣義定義，因此包括人類賴以維生的生物基礎、土地與水等自然資源都屬於環境的範疇。從這個角度來看，環境除了是自然危害的發生源外，環境本身也會受到自然危害的影響，即環境亦具有脆弱性。

二、問題與評析

自從聯合國將二十世紀的最後十年訂爲所謂的 IDNDR（International Decade for Natural Disaster Reduction）後，自然災害的相關研究在不同的領域蓬勃發展。由最近的發展趨勢可以看出一個現象，也就是脆弱性研究的大量興起。國際間許多脆弱性評估的研究也都在努力找尋可能造成脆弱性的環境與社經因素。雖然在全球環境變遷、災害風險管理或是氣候變遷等領域的研究中，均引入了脆弱性的概念，但是人與環境這個複雜的系統仍然使得脆弱性研究呈現十分多元的現象，不同的操作型定義

與研究架構各有所重，亦各有所輕。許多脆弱性的概念如敏感性、彈性、應變、適應等雖然在不同的研究架構中被引用，但由於脆弱性的衍生機制多橫跨社會、經濟與環境間極為複雜的交互作用，因此目前仍無統一的、主流的理論出現。

除了定義與研究架構的分歧外，在脆弱性指標的建立上也面臨許多質性概念難以量化的問題。例如脆弱性會因不同人的年齡、收入、教育水準與居住地區的基礎建設好壞而有所差異，這部份是比較容易量化的部份。然而如敏感性（sensitivity）、適應力（adaptation）、彈性（resilience）乃至於人在面對災害的求生意志等因素則十分難以通則量化，這部份往往需要以小尺度，甚至是個案研究的方式才能獲取結果。從災害風險管理的角度來看，防救災資源分配的優先順序仍需可信賴的科學數字做為決策的依據。因此就脆弱性指標的建置而言，一個可供比較的量化指標向來是決策者所引頸企盼的。目前美國史丹佛大學的比較性的脆弱性評估（comparative vulnerability assessment）、哈佛大學的人與環境耦合系統的脆弱性分析（vulnerability analysis of the coupled human-environment system）都是正在發展中的脆弱性評估模式。值得特別注意的是，在進行跨國尺度（international）、國家尺度（national）以及次國家尺度（sub-national）的災害風險與脆弱性研究中，由於平均化的結果，往往會掩蓋具具有高風險的社群，例如在大都市內的貧困居民或是邊緣社區。這些經濟弱勢、低教育水平甚至無醫療保險的社群往往具有較高的脆弱性，也最容易受到災害的衝擊。但在大尺度的定量研究中經常被忽略。

近年來全球環境變遷的研究證明了人類活動對於環境的重大影響，而不同的承災體在面對各種危害時的脆弱性表現也有很大的差異。落後與開發中國家的災害衝擊以人員死亡為主，已開發國家的災害衝擊則以經濟損失為主。雖然死亡、受傷與經濟損失等量化資料都可以反應災害的衝擊程度，然而資料的準確性卻經常因地、因時、因屬性而異。例如先進國家或都市地區的資料準確性高於落後國家與偏遠地區，而早年資料的準確性通常也較低。從資料的屬性上來看，相對於質性資料（如災民的心理創傷、災後行為與識覺等），量性資料的可及性（availability）不但較高，加上可供比較的量化數據經常是決策者進行決策的重要依據，因此目前國際上幾個大型災害風險評估計畫皆是以發展定量的災害指標為主。然而即使同是定量資料，資料的客觀性與可信度還是存在很大的差異。以經濟損失為例，除了有保險的部份可以進行較精確的估算外，其他部分則會因為計算方式的不同而有很大的落差。除了經濟損失外，國際災害資料庫 EM-DAT 也記錄了各類自然災害所造成的死亡、受傷、無家可歸與受災害影響（affected）的人數。其中除了死亡數據較為可靠之外，受傷、受影響等資料的可信度則備受質疑。雖然 EM-DAT 對於受傷與受影響皆有明確的定義，例如“受影響”指的是在災害中需要食物、水與避難處所等基本生活需求以及立即的醫療協助者。但是官方或救災單位所紀錄的數字往往會與實際情況有所落差。以受傷為例，某些地區可能因為醫療設施較為進步或是醫療診所較為密集，因此就醫的比例較高；某些地區則可能因為醫療設施不足或過於偏遠導致人們無從就醫或不願就醫。這樣的落差可能會導致受傷人數在落後地區被低估，而進步地

區的受傷人數較多的假象。因此死亡率與經濟損失仍是目前國際上最主要的兩個災害指標，世界銀行委託哥倫比亞大學執行的 Hotspots （Natural Disaster Hotspots）計畫、聯合國開發計劃署的 DRI（Disaster Risk Index）計畫皆是以量化的死亡率與經濟損失做爲不同地區與國家的比較基準。值得再次強調的是，死亡率與經濟損失雖然具有可量化的優點，但僅能反映部分的脆弱性。

災害風險、脆弱性與永續發展

一、發展歷程

爲使經濟發展與環境保護獲得平衡，並顧及現今與跨世代（intra- and intergeneration）的公平正義，永續發展的概念已成爲國際社會的共識。各學派對於永續發展的定義不盡相同，其中最廣爲接受的即是 1987 年世界環境與發展委員會所提出的定義：「滿足當代發展的需求，並且不損及未來世代發展之所需」。1992 年地球高峰會議上聯合國秘書長蓋里亦於開幕致詞時宣示了如上的概念。基本上永續發展的架構包含了經濟、社會與環境三個層面，一個符合永續發展的社會其與經濟和環境必須是相互調和的。因此有學者便指出，永續發展的實行就是在處理深層的經濟、社會與環境衝突（Davoudi and Layard, 2001）。

經濟、社會與環境之間的衝突不僅是永續發展的核心議題，也是災害風險研究無法迴避的挑戰。因爲災害事件的發生即是人類社經活動與環境交互作用（衝突）的結果。從“Living with risk”（UN/ISDR, 2004）、“Reducing disaster risk”（UNDP, 2004）至於 2005 年的兵庫行動綱領（Hyogo Framework for Action）均明白指出降低人類面對災害的風險與脆弱性皆應與永續發展相互整合。世界經濟論壇明日環境工作小組（GLT）於 2000 年開始委託耶魯大學環境法律及政策中心（YCELP）及哥倫比亞大學國際地球科學資訊網路中心（CIESIN）進行環境永續性指標（ESI，Environmental Sustainability Index）建置計畫，在其 2001、2002 與 2005 年的指標架構中，也都將“降低人類的脆弱性”列爲架構的五大面向（component）之一。2005 ESI 的架構中更明確地將“減少環境自然災害的脆弱性”列爲具體指標，其意涵即爲：當人類受到自然災害的衝擊愈小時，環境永續性愈高（ESI 2001, 2002, 2005）。ESI 指標的基礎架構是建立在廣義的生態科學與環境政策的理論上，由其五個主要的向度可以看出，本架構已超越過去純環境的侷限，強調廣義環境的概念，即本架構的「環境」已包含了過去的環境、經濟與社會的整體概念。

不同的永續發展理論對於經濟、社會與環境（生態）三者之間的相互關係或主次位階皆有不同的論述。如 Serageldin（1995）將永續的概念以三個分立的系統來建構，即以社會、經濟與生態做爲構成永續性的三個支柱（The Three Pillars of Sustainability）。其中社會的系統包括社會公平、社會的流動性（social mobility）與社會力（social empowerment)等；經濟的系統包括資源的有效利用、資本效率與投資成長等；生態的系統則包括生態的完整性、多樣性與承載力（carrying capacity）等。在此架構下，永續社會、永續經濟與永續生態是相互分立的。雖然個別都強調永續的概念，但對於如何協調彼此達到整體永續的脈絡卻沒有釐清。以經濟與生態爲例，永續經濟一方

面強調資本效率與投資成長以促進繁榮，改善貧窮。然而如何在追求經濟成長的過程中不逾越永續生態的界線，卻一直是現實中難解的問題。特別是在全球化的波瀾下，“追求成長，否則落後”的無限競逐早已超越永續生態的界線而益顯積重難返。攸關全球暖化的碳排放管制在國際政治角力與經濟發展的壓力下仍未見曙光就是最好的例證。誠如中國俗諺所言：由儉入奢易，由奢入儉難。人類如何在擺脫貧窮後適度停止追求更多的便利與享受，以求得社會、經濟與生態的和諧共存，這也是本架構未釐清解決的部份。

有鑒於 Three Pillars 未提出如何在執行層面上落實社經發展與生態間的平衡，The Prism of Sustainability 架構在社會、經濟與生態的層面外，再加入制度的層面。本架構可以視爲 Three Pillars 的補強，強調政府、企業與社區等不同單位對於永續政策執行與協調合作（coordination and cooperation）的能力。此與 ESI 2005 五大向度內的 Social and Institutional capacity 概念實爲一致。Ghai 與 Vivian（1992）認爲要真正達到永續發展的目標必須從上到下，也就是從社會低層到社會高層都能落實永續政策的執行。即在民眾基本生計無虞的條件下，全體國家社會對於永續政策的認同與體現。

相對於 Three Pillars 與 Prism 的分立架構，The Egg of Sustainability 以生態經濟學的觀點明確地界定經濟、社會與自然的位階（hierarchy）關係。由內（低）而外（高）分別是經濟圈、社會圈與自然圈：經濟圈包含於社會圈之內，兩者定義爲所謂的人類系統，而人類系統又包含在自然圈之內。而經濟圈、社會圈與自然圈則購成整個生態系統。經濟圈的成長必須在符合社會圈的社會公平、社會階級可流動性的條件之下；而整個經濟圈與社會圈的發展又不能逾越自然圈的限制，包括環境的承載力、資源的可持續性等。換句話說，整個人類系統的發展（economic growth & social welfare）必須約束在整體生態系統可持續發展的範圍內，而非毫無限制的追求擴張。綜言之，本架構的永續觀念是將生態系統置於最高的位階，也就是永續發展必須是一種受限在自然環境約束下的有限發展，而不是人類系統的無限成長。這樣的架構不但解決了將社會、經濟與生態分立，但又要求整體永續的矛盾外，也將跨世代永續發展的概念涵蓋於內。

二、問題與評析

2005 年卡崔納颶風重創美國，造成 1833 人死亡，經濟損失更高達一千兩百五十億美元。除了立即的有形損失之外，長期的影響還包括：死亡人口生產力的永久喪失、巨額保險賠償、災區龐大復建成本等經濟問題與災民就業、遺族失怙失養等社會問題。

對於許多貧窮或開發中國家而言，人員死亡與救災、復原以及其它的附加成本，不僅對受災區域造成直接衝擊，更會對整個國家與社會的永續發展產生巨大的負面效應。重大的自然災害往往超越這些國家經濟所能負擔的程度，因此必須依靠國際借貸與救援。因而致使國家陷入受災、舉債、救災的惡性循環，如此更無餘力改善國家的經濟發展。因此高災害風險對於社經發展的長遠影響，往往遠超過災害當下的短期衝擊與直接損失。高度暴露在自然災害威脅下的環境下代表許多資源必須投入災害的預防與救治工作上，因此會排擠或耗費國家永續發展的資源。

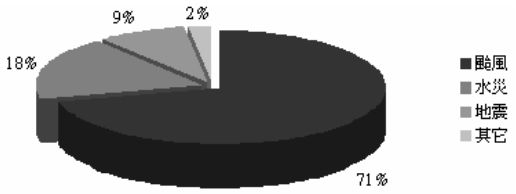
降低人類的災害風險或是提高其面對災害的脆弱性在許多層面與促進永續發展看似一致，然而卻不能完全畫上等號。事實上在某些情況下，兩者更是相互矛盾牴觸的。從社會與經濟的觀點來看，高災害風險的社會普遍都具有經濟弱勢的特徵，且民眾的生計極度仰賴一級產業，這種特徵在落後與發展中國家特別明顯。因此促進經濟成長、消弭貧窮確實可以降低民眾面對災害的風險與脆弱性。然而在追求經濟成長的過程中，不當的環境開發看似消弭了貧窮，實際上卻是將風險轉嫁至別處甚至是未來世代。例如森林砍伐雖然可以短暫獲利，立即改善當地居民的經濟狀況。但森林消失後卻可能增加山崩、土（泥）石流等的災害風險。而森林消失所造成的生態破壞不但會影響當地未來的生計資源，大面積的森林砍伐更可能影響區域甚至全球的碳循環、水循環與大氣環流模式，影響的時空尺度將十分深遠。

從災害的角度來看，災害事件的發生可以視爲人類系統未以永續的方式置身於周遭自然環境的一種信號（Anthony, 1998）。不符合永續發展的減災作爲雖然可以在局部的時間與空間減輕某些對象的災害衝擊，然而卻會將風險轉嫁至其他地區與未來世代，非但不是真永續，更可能在風險逐漸累積後造成更大的災難。因此未來不論是學界與官界在進行災害風險研究與減災策略上，都應該將跨區域、特別是跨世代的永續概念整合於內。

台灣自然災害的特性

台灣特殊的氣候與地質條件，加上高密度的人口與超限開發，使得自然災害已經成爲我們生活中無可避免的一部分。舉凡地震、颱風與水患都對民眾的生命與財產產生極大的威脅。

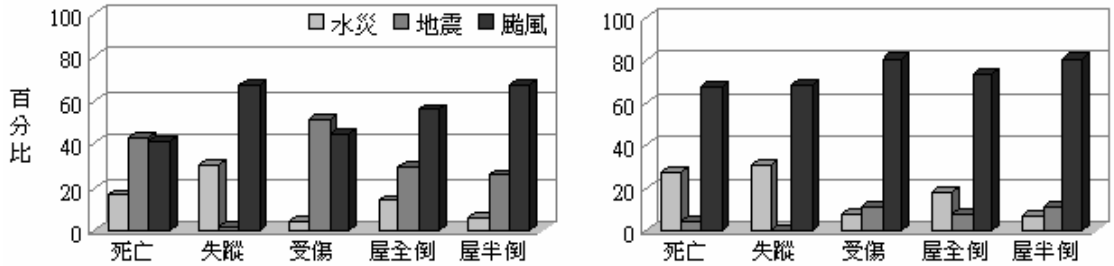
台灣的災害問題向來複雜，除了先天上本屬自然危害好發的地區外，高密度的人口與快速的社經發展在缺乏永續發展與綜合風險的政策管理下，使得自然災害事件頻仍。台灣在過去的五十年間，共計發生了 268 次的自然災害，其中以颱風災害的 190 次最多，佔了所有災害 71%，其次爲鋒面與其他中尺度對流系統所造成的水災居次，佔所有災害的 18%。地震位居第三，佔所有災害的 9%。其它如山崩、龍捲風等災害發生次數較少，僅佔 2%。詳如圖 6 所示：



資料來源：原始數據源自內政部消防署（97 年 4 月），經本研究統計繪製。

圖6　1958-2007年台灣地區自然災害事件類別統計

從人員與房屋的實體損失來看，颱風、地震與水災是台灣最主要的三種自然災害（圖 7 左)。但若不計 921 地震，颱風與水災等水文氣象類災害所佔的災損明顯呈現一支獨秀的情形（圖 7 右)。從經濟損失上來看，過去五十年台灣前十大經濟損失的自然災害之中，除了 921 地震外，其餘九個也都是颱風與水災所造成。換句話說，水文氣象類災害仍是台灣最主要的自然災害，這個特徵和全球的現象相當一致。



資料來源：原始數據源自內政部消防署（97 年 4 月），經本研究統計繪製。

圖 7　1958-2007 年台灣地區災害損失統計

從歷史重大颱風事件來看，除了 80 年代的韋恩颱風外，其餘颱風事件都是發生在 90 年代之後。此現象與世界多數國家類似，其與近代大量開發，農林漁牧與工商財產暴露在自然危害下的威脅增多有關。

而近五十年間，台灣前十大死亡的自然災害之中，60 年代佔了五個，70 年代佔了兩個，90 年代後則佔了三個，詳如表 1。在氣象預報與防災科技長足進步的情況下，前十大人員死亡的自然災害卻有三成的比例發生在近十年之中。這三個災害也分別名列經濟損失的第 1、3、6 名，詳如表 2。顯示 90 年代後台灣的自然災害兼具高經濟損失與高死亡人數的雙重特性。一般說來，國際上的自然災害結果大致可以分為兩種類型：貧窮國家或落後地區的災害衝擊以人員死亡為主；已開發國家的災害衝擊則以經濟損失為主。因此台灣前十大死亡的自然災害有五個都發生在 60 年代，也就是台灣經濟與科技較為落後的年代；而前十大經濟損失的颱風災害則幾乎集中在 90 年代後。然而相較於“高經濟損失低死亡人數”或“低經濟損失高死亡人數”的一般特性，台灣在 90 年代後的集集地震、桃芝颱風與納莉颱風卻兼具高經濟損失與高死亡人數的雙重特性，其背後的原因以及在未來風險評估上的意義值得我們進一步深究。

表 1　1958~2007 年台灣前十大人員死亡的颱風災害

年	災害名稱	死亡失蹤人數
1999	集集地震	2444
1963	葛樂禮颱風	312
1961	波蜜拉颱風	279
2001	桃芝颱風	214
1960	雪莉颱風	183
1970	芙安颱風	130
1977	薇拉颱風	114
1969	艾爾西颱風	105
1969	芙勞西颱風	105
2001	納莉颱風	104

資料來源：原始數據源內政部消防署（97 年 4 月），經本研究整理。

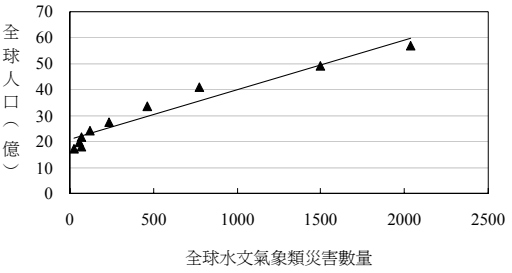
表 2　1958~2007 年台灣前十大經濟損失的自然災害

年	災害名稱	經濟損失
1999	集集地震	14,100,000
1996	賀伯颱風	1,100,000
2001	納莉颱風	800,000
1986	韋恩颱風	405,000
2004	敏督利颱風	400,000
2001	桃芝颱風	240,000
1994	道格颱風	232,000
1996	葛樂禮颱風	200,000
2000	象神颱風	150,000
2000	碧利斯颱風	135,000

資料來源：EM-DAT（http://www.em-dat.net）（97 年 4 月），經本研究整理。

未來挑戰

隨著全球暖化的科學證據愈來愈明顯，全球暖化也成了許多重大自然災害的假想禍首。然而一個災害事件的發生需要所謂的外部（自然）因子與內部（人文）因子共同作用，自然災害的頻率與規模和全球暖化或是聖嬰現象的關連性有多少？災損的增加究竟是和災害本身的強度或頻率的變化有關？還是和人口與社經的變化關聯性較高？這些都是需要我們以嚴謹的方法加以釐清。以近半個世紀以來大幅增加的水文氣象類災害爲例，除了可能與近 50 年的暖化有關外，其與全球人口數量的成長也呈現極爲一致的趨勢，相關係數高達.97（圖 8）。這樣的統計結果提醒我們：除了自然的因素外，人口成長或是其他的社經因素是否在災害事件中扮演了更重要的角色？



資料來源：人口資料引用自 http://geography.about.com/od/obtainpopulationdata/a/worldpopulation.htm，災害數量資料整理自 EM-DAT，（97 年 4 月）。

圖 8　20 世紀全球人口與水文氣象類災害之相關性（本研究統計）

然而不論是危害本質的科學研究或是人類社經的脆弱性研究，目前均面臨以下的問題需要克服。

一、自然因子－外部危害研究的部份：

就自然危害的研究而言，各項環境的量化資訊是進行研究的基礎條件。ESI 2005 報告中便指出，在現今各領域的決策過程都需要足夠的資訊做爲依據的情況下，環境領域卻因爲資訊的不足與不確定性因素的影響，使得環境決策缺乏可以倚賴的相關資訊。這主要是因爲環境資訊的資料量極爲龐大，地面觀測網往往受限於人力與財力而力有未逮。衛星遙測的廣泛應用雖然克服了大範圍的資料收集問題（特別是海洋地區），但衛星資料除了侷限於地（海）表面外，衛星資料的解析度以及受到繞行軌道與天候雲蔽的限制，使得遙測資料仍有相當的侷限性。此外從學理上來看，颱風、洪水等危害都是屬於非線性的自然現象，雖然現今電腦的運算能力大幅增加，但受限於觀測資料的解析度與準確性，各種模式在計算的過程中受到誤差與不確定因素的影響，使得上述危害的可預測性仍偏低，這也是目前全世界對於自然危害仍無法準確預測的主要原因之一。以近十年全球極端降水與熱浪的氣候異常事件來說，氣候變化所涉及的大氣與海洋的的能量與物質收支平衡是一個相當複雜的系統。從小尺度、中尺度到大尺度；從動能、位能到熱能，能量與物質藉由各種的途徑和多樣的形式進行著繁複的物理及化學過程，有正回饋也有負回饋，至今我們仍然無法洞悉其完整的來龍去脈。就像是混沌理論中的蝴蝶效應般，自然界中的非線性過程我們仍難以預測掌控。

二、人文因子－內部脆弱性研究的部份：

就人類系統的脆弱性研究而言，其所涉及的範圍與複雜度亦不亞於自然危害的科學研

究。從年齡、性別、種族、教育程度到個人與群體的災害識覺（perception）以及社會網絡、政府制度等。換言之，社會、經濟與政治系統皆是人類系統脆弱性研究的範疇。如同自然危害研究所面臨的困境般，脆弱性研究所涵蓋的大量質性資料的可及性（availability）也很低。這些非量性資料往往需要長時間、小尺度甚至需要以個案研究的方式才能獲得。因此現今國際大型的脆弱性研究計畫仍是以量性的死亡率與經濟損失來進行大尺度的跨國脆弱性比較研究。例如世界銀行委託美國哥倫比亞大學執行的「全球自然災害風險熱點確認計畫－Hotspots, Identification of Global Natural Disaster Risk Hotspots project」即是以全球主要的六種自然災害，包括颱風、乾旱、地震、洪水、山崩與火山災害所造成的死亡率（Mortality）與國內生產毛額（GDP）的損失做爲風險計算的參數。另外由聯合國發展署（UNDP）的危機預防與復原局（BCPR）負責執行的「降低災害風險：發展的挑戰（Reducing Disaster Risk: A Challenge For Development）」，計畫的宗旨是要探究社經發展與自然災害之間的相互關係，目的是希望發展出一套適當的發展策略以達到降低災害風險的目的。該計畫也是針對颱風、地震、水患、乾旱等四種自然災害進行死亡率與經濟損失的計算。因此不論是 Hotspots 或是 RDR，都是以量化的單位暴露人口死亡率與經濟損失做爲不同國家之間的相對脆弱性比較。然而如同文中所言，死亡率與經濟損失僅是脆弱性眾多面向的其中之一。其他脆弱性面向的研究上也面臨資料收集與調查的困難，如敏感性、適應力、恢復力與災害識覺等質性資料通常需要以小尺度，甚至是個案研究的方式才能獲取結果，加上這些資料往往具有動態性，因此仍難以常態的業務化進行資料收集。這對於需要大量質性資料進行大尺度的脆弱性分析與指標建構確實目前面臨的最大困境。

三、台灣本土研究的問題與方向

最後關於台灣未來在災害風險研究的方向，本文有以下建議：

（一）在外部危害研究的部份，應加強 ESS 跨領域研究與環境資訊的收集：

台灣的自然災害往往是大氣圈、水圈、生物圈與岩石圈共同作用下的結果，例如大氣圈的颱風經常與水災、地震、土石流與農林漁牧等水圈、岩石圈與生物圈的災害相互關聯。正因爲災害問題多涵蓋不同圈層的主次領域，圈層間彼此的交互與回饋作用使得災害問題變的十分複雜。如何從地球系統科學 ESS（Earth system science）分析的方法將各領域的研究成果整合，對於了解災害全貌以及制定國家未來長期的整合防災策略至關重要。國際地圈生物圈計畫執行長 Kevin Noone 曾將地球系統比喻成一幅大拼圖，拼圖內的每個小塊就像是各種不同領域的研究。我們除了需要對各個小塊領域進行研究了解外，也需要從系統的整體概念將各領域的研究成果拼湊成一幅完整的大拼圖，也就是必須了解這些分屬不同領域但卻彼此關聯的相互作用與回饋機制。

以全球暖化爲例，大氣圈的大氣環流、水圈的水循環、岩石圈與生物圈的碳收支都是影響因子，彼此間也具有互饋作用。因此除了氣象、水文與生物等各領域的專業研究外，也需要進行跨領域的連結與整合。台灣在地質、氣象、水文等各個不同領域的災害研究雖然相當蓬勃，但研究的資源多分散於各學術院校，相

關的研究中心也置於其下，例如台灣大學的綜合災害研究中心與全球環境變遷研究中心等。相較於台灣，美國的國家海洋大氣局 NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）則是傾國家之力，從衛星、船舶到電腦等軟硬體資源的整合使得其在各項海洋、大氣、森林、漁業等環境資訊的收集與處理上具有極佳的優勢，而這些環境資訊正是進行地球系統科學整合研究的第一關鍵。在理想的情況下，各種重要的災害管理決策都需要有足夠的環境資訊做爲依據，然而台灣在這一部份確實落後美日許多，因此也限制了系統科學整合研究的發展。在災害與環境管理的決策上也因爲環境資訊的缺乏與不確定性，使得決策過程流於概括的判斷或是以專家的主觀選擇爲基礎。

綜言之，地球系統科學 ESS 跨領域整合研究的發展方向已是未來自然災害風險研究的趨勢。台灣除了在環境資訊上缺乏整體而持續的觀（監）測資料外，另外一個問題就是關於災害統計的部份。目前政府公報的災害統計項目受限於人力與制度的限制，主要的統計項目仍是以災時的災情統計與災後的災損統計爲主，其他如災因統計、減災統計及補償統計等統計項目幾無列入政府業務化的調查與收集。此外各防災單位對於災害統計的項目與定義也缺乏統一的標準與作業程序。綜合以上原因，現行災害統計資料除了未能反映目前多元且複合的災害特性外，也限制了學界相關研究的發展。

（二）在內部脆弱性研究的部份，應考慮未來都市化與人口結構的轉變：

近年來台灣都市化的程度非常明顯，根據主計處的統計，截至 2006 年止台灣近 70%的人口居住在面積不到 17%的都會區。都市化對於災害同時具有正反兩面的效應，正效應在於都市的基礎建設、防災資訊與整體資源較佳，抗災能力較鄉村強；負效應則在於人口與財產暴露在危害下的密度或總量遠高於鄉村，一旦成災也遠較鄉村嚴重。2000 年的象神颱風與 2001 年的納莉颱風在台北基隆都會區就分別造成了 64 人與 69 人死亡。除了人員死亡外，停電停班等工商災情亦十分慘重。納莉颱風不但使台北市東區成爲一片水鄉澤國，還淹沒台北地下捷運系統，除了上百億元的搶修損失外，更造成台北都會區近三個月的交通黑暗期。從經濟上來看，台灣的都市人口比例與人均國民生產毛額呈現高度正相關的關係，顯示經濟因素是人口往都市流動的主要原因。正因爲如此，大量的財富（產）也都集中在都市地區。因而導致都市地區無災則已，一旦成災則可能十分慘重的情況。2005 年遭受卡崔納颶風重創的紐奧良市也是類似的例子。台灣都市地區除了人口稠密外，也經常有向山坡地與行水區過度開發的情況。因此當防災設施失當或洪水頻率超過防洪工程設計時，造成的災害就可能更爲嚴重。

除了都市化的問題外，人口結構的變化也是爲未來防災策略制定時應該考慮的部份。近年來台灣新生兒出生率屢創新低，人口結構有逐漸偏向高齡化的趨勢。高齡人口面對災害的脆弱性迥異於青壯年，2000 年象神颱風造成基隆百福社區老人護理之家 14 人溺斃，其中多爲 60~90 歲的安養病患。顯示老年人口由於生理行動與應變能力較差，屬於死亡風險較高的族群。因此未來在老人安養機構的設置與防災措施上必須要有特殊的考量。尤其是許多老人安養機構都設置於鄉下或是比較偏遠的地

區，這些地區往往因爲防災的軟硬體設施較爲缺乏，或是本身位於“依山傍水”的高災害潛勢地區，使得脆弱性高的老人反而暴露在災害風險較高的地區。基隆市百福社區的老人護理之家也是因爲設置於淹水潛勢較高的地下室，加上基隆河因爲颱風降雨強度過大而迅速氾濫，數十名老人逃生不及導致釀成重大災情。因此未來政府應區劃災害高風險地區並制定相關的管理原則，例如老人安養機構就不宜設置於這些地區，以避免高災害風險地區出現更嚴重的災情。

（三）持續推動防災科技研發並積極參與國際災害防治與研究計畫：

國科會自 1982 年起開始著手推動「防災科技研究計畫」，1997 年成立「防災國家型科技計畫」，2000 年頒佈施行「災害防救法」，2003 年正式成立「國家災害防救科技中心」投入防救災的研發與推動工作。由此可以看出政府與相關學術機構對於災害研究的重視。政府面對災害的思維雖然已經從過去消極的救災層次提升到現今的主動防災與減災，然而在人類社會、經濟與政治系統高度的複雜發展下，災害已經演變成具多元化與複合化的特性。換言之，災害問題已非單一因素所造成，因此災害的管理也將涉及跨部門、跨領域甚至跨國際的問題。例如水患的治理可能涉及土地的開發計畫、河川與林務單位的管理、氣象的預報監測以及上中下游縣市甚至鄰近不同國家的治理策略。因此災害問題不但是科學問題，也是經濟、社會與政治的問題。例如中國的沙塵暴問題不但涉及當地居民的生計，也影響鄰近日韓的空氣品質與陸空交通安全，甚至可飄洋過海至美國西岸造成影響。而攸關全球溫室氣體排放管制的京都議定書也是個明顯的例子，其中涉及不同國家的政經利益更突顯了減災策略的高度複雜性。台灣受限於國際政治的現實，使得國際參與多受打壓與限制。而自 2007 年起開始進行的一個全球性的合作計畫－全球災害風險確認計畫 GRIP（Global Risk Identification Program）是由非政府組織 ProVention Consortium 所主導，主要合作單位包括世界銀行、美洲開發銀行（IADB）、美國哥倫比亞大學、災害流行病學研究中心（CRED）聯合國開發計畫署（UNDP）與環境計畫署（UNEP）等機構。這對於台灣是個很好的機會，台灣應主動爭取參與，並與各國交換重大災害的防治與救災經驗。由於 GRIP 將針對氣候變化、災害範圍與人類動態脆弱性之間的關係進行整合性的研究，因此 GRIP 的後續研究成果將十分值得做爲未來台灣地區災害風險整合研究的參考。

結論

1948 年聯合國大會通過的世界人權宣言中提到，人類皆應享有免於恐懼（freedom from fear）與免於匱乏（freedom from want）等權利。若從人類安全（human security）的角度來看，上述兩項權利可以透過政治與經濟的手段來達成。然而在世界人權宣言提出免於恐懼與免於匱乏的半個多世紀後，2005 年的卡崔納颶風依然重創科技翹楚與經濟強權的美國，許多災民至今仍無家可歸，災後的心理創傷更是難以抹平。其它如孟加拉、印度與中南美洲等落後或開發中國家依然處於高風險的自然災害威脅下。足見在過去的半個世紀以來，人類社會在經濟成長與民主昌明的漸進過程中，大規模戰爭或是極權政治帶來的恐懼與匱乏雖已逐

漸消除，但是依然無法擺脫自然災害所帶來的衝擊。有鑒於近年來自然災害對於人類社會的重大衝擊，Bogardi and Brauch 於 2005 年倡議將「免於危害衝擊（freedom from hazard impacts）」也納入到人類安全的概念中，強調除了經濟與社會層面之外，環境層面的重要性。這也與永續發展的永續環境、永續經濟與永續社會三個層面相呼應。

人類面對自然災害風險的思惟從 1970 年代以前的唯天是命與逆來順受；1970 年代的人定勝天與工程導向；1980 年代的社經脆弱性研究的興起；1990 年代後的綜合風險管理與永續發展。思惟與典範的轉變顯示我們已經認知到自然災害並非外部危害單向的作用，而是自然因子與人文因子共同作用的結果。自然災害不但是過去不適當社經發展下的結果，也將是未來邁向永續發展的障礙。進一步的說，自然災害既是失敗發展的原因，也是失敗發展的產物（Natural Disaster as a Cause and Product of Failed Development）。近十年來台灣重大的災害事件也應證了這樣的事實。爲因應台灣多元複合的災害特性，台灣應朝向「地球系統科學」ESS 跨領域研究與「危害-風險-脆弱性」HRV 整合研究的方向發展，俾使在自然災害風險管理與國土永續經營上具有整體的科學依據。ESS 與 HRV 這兩個跨領域與整合研究的發展方向不但是未來自然災害風險研究的趨勢，也是台灣這個多災環境有效降低災害風險與成功邁向永續發展的關鍵環節。

引用文獻

林冠慧（2004）全球變遷下脆弱性與適應性研究方法與方法論的探討，全球變遷通訊雜誌，43，33-37。

黃朝恩（2000）人類活動所激化的自然災害，環境教育，41，49-56。

萬慶等（1999）洪水災害統系統分析與評估，北京：科學出版社，6-9。

2001 Environmental Sustainabilty Index (ESI) (2001) *2001 Environmental Sustainability Index*, New Haven, Conn.: Yale Center for Environmental Law & Policy, 10-11.

2002 Environmental Sustainabilty Index (ESI) (2002) *2002 Environmental Sustainability Index*, New Haven, Conn.: Yale Center for Environmental Law & Policy, 7-8.

2005 Environmental Sustainability Index (ESI) (2005) *2005 Environmental Sustainability Index*, New Haven, Conn.: Yale Center for Environmental Law & Policy, 14-15.

Anderson, A. W. (2007) Advancing Knowledge on the Social Dimensions of Disasters, keynote speech presented at Annual Conference on Hazards Mitigation Research, National Science & Technology Program for Hazards Mitigation, Taipei, February 6, 2007.

Anthony, O. S. (1998) Global Changes and the Definition of Disaster. In: Quarantelli, E. L. (ed.) *What Is A Disaster*, London and New York: Rutledge, 177-194

Birkmann, J. (2006) *Measuring Vulnerability to Natural Hazards*, Tokyo: United Nations University Press, 1-48.

Bogardi, J. and Birkmann J. (2004) Vulnerability Assessment: The First Step Towards Sustainable Risk Reduction. In: Malzahn, D.

and Plapp. T. (eds.) *Disaster and Society – From Hazard Assessment to Risk Reduction*, Berlin: Logos Verlag Berlin, 75-82.

Bohle, H. G. (2001) *Vulnerability and Criticality: Perspectives from Social Geography*, IHDP Update 2/2001, Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change: 1-7.

Bollin, C., Cardenas, Hahn, H. and Vatsa, K. S. (2003) *Natural Disaster Network; Disaster Risk Management by Communities and Local Governments*, Washington, D.C.: Inter-American Development Bank, 67.

Cardona, O. D. (1999) Environmental Management and Disaster Prevention: Two Related Topics: A Holistic Risk Assessment and Management Approach. In: Ingleton, J. (ed.) *Natural Disaster Management*, London: Tudor Rose.

Chambers, R. and Conway, G. (1992) *Sustainable Rural Livelihoods: Practical Concepts for the 21st Century, IDS Discussion Paper 296*, Brighton: Institute of Development Studies.

Changnon, S. A., Pielke Jr, R. A., Changnon, D., Sylves, R. T., and Pulwarty, R. (2000) Human Factors Explain the Increased Losses from Weather and Climate Extremes, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (3): 438.

Crichton, D. (1999) The Risk Triangle, In: Ingleton, J. (ed.) *Natural Disaster Management*, London: Tudor Rose, 102-103.

Davidson, R. (1997) *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Report No. 121, Stanford: Stanford University.

Davoudi, S. and Layard, A. (2001) Sustainable Development and Planning : An Overview. In: Layard, A., Davoudi, S. and Batty, S. (eds.) *Planning for a Sustainable Future*, London and New York: Spon Press, 7-17.

DFID (1999) *Sustainable Livelihood Guidance Sheets*, London: DFID.

Dilley, M. (2002) Managing risks of climate-related losses on decadal time scales, *A Climate Risk Management Approach to Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change*, UNDP Expert Group Meeting, 17-19 June 2002, Havana, 60.

Emanuel, K. (2005) Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, *Nature*, 436: 686-688.

Ghai, D. and Vivian, J. (1995) *Grassroots Environmental Action: People's Participation in Sustainable Development*, London: Routledge.

Granger, K. (2003) Quantifying Storm Tide Risk in Cairns, *Natural Hazards*, 30: 165-185.

Hegerl, G. C., Zwiers, F. W., Braconnot, P., Gillett, N.P., Luo, Y., Marengo Orsini, J. A., Nicholls, N., Penner J. E. and Stott, P.A. (2007) Understanding and Attributing Climate Change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., .Tignor, M. and Miller, H. L. (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 and New York: Cambridge University Press, 682-688.

Hilhorst, D. and Bankoff, G. (2004) Introduction: Mapping Vulnerability, in Bankoff, G., Frerks, G. and Hilhorst, D. (eds.) *Mapping Vulnerability: Disaster, Development and People*, London: Earthscan.

Peduzzi, P., Dao, H. and Herold, C. (2002) Global Risk and Vulnerability Index Trends per Year (GRAVITY), Phase II: Development, analysis and results, UNDP/BCPR, Geneva, available at http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_gravity2.pdf.

Serageldin, I. (1995) Promoting Sustainable Development: Toward a New Paradigm. In: Serageldin, I. and Steer, A. (eds.) *Valuing the Environment: Proceedings of the first Annual International Conference on Environmentally Sustainable Development*, Washington D.C.: World Bank, 13-21.

Smith, K. (1996) *Environmental Hazards-Assessing Risk and Reducing Disaster*, London and New York: Routledge, 22.

Turner, 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. and Schiller, A. (2003) A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14): 8074-8079.

UNDP (2004) *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. A Global Report*, New York: BRCP.

UN/ISDR (2004) *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, Geneva: UN Publications, 23.

van der Link, G., and Coauthors (1998) Why the U.S. is becoming more vulnerable to natural disasters, *Eos,Trans. Amer. Geophys. Union*, 79: 536-537.

Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. and Chang, H. R. (2005) Changes in Tropical Cyclone Number , Duration, and Intensity in a Warming Environment, *Science*, 309: 1844-1846.

Wisner, B. P., Blaikie, P., Cannon, T. and Davis, I. (2004) *At Risk: Natural hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, London: Routledge.

Challenges and Perspectives on Natural Disaster Risk Research

Chiung-Ming Lin* 、Sheng-I Hsu**

Abstract

Taiwan's environment is under a great pressure due to high population density, improper use of land and unsustainable management. In fact, Taiwan is a hazard-prone area in climate and geology inherently. All these make Taiwan suffer plenty of natural disasters.

High disaster risk areas suffer plenty of disasters. It will affect the national sustainable development if we can not reduce disaster impacts effectively. Typhoon Nari and Hurricane Katrina clearly show that physical or technique-led approach can not solve disaster problems solely. It is therefore necessary to reduce people's vulnerability in the integral economic, social and environmental aspects.

Due to the devastating impacts of natural disasters, Bogardi and Brauch suggested extending the human security concept by introducing - "freedom from hazard impacts", thus emphasizing the importance of environmental dimension. This concept corresponds with sustainable environment, sustainable economy and sustainable society within sustainable development. The conflicts between economy, society and environment are not only the core of the sustainable development, but also the inevitable challenges of disaster risk management. Natural disaster is as a cause and product of failed development. The interdisciplinary ESS (Earth system science) and integral HRV (Hazard-Risk-Vulnerability) are not only the trend of natural disaster risk researches, but also the key factor to reduce disaster risk effectively in Taiwan.

Keywords: sustainable development, vulnerability, human security, disaster risk management, Earth system science.

* Ph. D. Candidate, Department of Geography, National Taiwan Normal University.
** Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University.