

因應多重災害之都市空間 系統防災課題先期研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 101 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

因應多重災害之都市空間 系統防災課題先期研究

研究主持人：陳建忠

協同主持人：洪鴻智

研 究 員：簡長毅

研 究 員：賴深江

研究助理：廖容瑩

研究助理：王美惠

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 101 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

目次

表次.....	II
圖次.....	III
第一章 緒 論.....	1
第一節 背景與目的.....	1
第二節 方法與內容.....	4
第二章 多重災害相關研究.....	11
第一節 多重災害概念.....	11
第二節 多重災害評估與空間規劃.....	15
第三章 多重災害潛勢、脆弱度與風險分析.....	29
第一節 災害風險分析與管理概念.....	29
第二節 多重災害風險分析方法.....	32
第三節 整合性脆弱度評估方法.....	47
第四節 災害風險評估之應用.....	57
第四章 防救災設施需求分析.....	63
第一節 地區人口需求特性分析.....	63
第二節 防救災設施的需求特性與需求估計方法.....	66
第五章 防災空間系統規劃.....	101
第一節 防救災空間系統規劃原則.....	101
第二節 防救災設施規劃與配置準則.....	111
第六章 都市空間系統防災課題.....	131
第一節 災害潛勢、脆弱度與風險分析.....	131
第二節 防災空間系統規劃與設施需求分析.....	134
第七章 結論與建議.....	139
第一節 結論.....	139
第二節 建議.....	141
附錄一：期中審查意見回應表.....	145
附錄二：期末審查意見回應表.....	147
附錄三：第一次專家學者座談會會議記錄.....	151
附錄四：第二次專家學者座談會會議記錄.....	155
附錄五：後續研究計畫.....	161
參考書目.....	183

表次

表 2-1 基本用語主要定義	13
表 4-1 被害想定項目	66
表 4-2 P_L 值液化面積率	75
表 4-3 液化建物全壞率、大規模半壞以上率、半壞率	75
表 4-4 水災評估項目定量化指標	85
表 4-5 人員傷亡(死亡數)推估方法項.....	88
表 5-1 緊急應變中心設置準則	114
表 5-2 搜索和救援隊伍的形成	115
表 5-3 緊急醫療救護單位設置之準則	116
表 5-4 擬定海嘯避難計畫必要事項	127
表 5-5 防波堤減災效果計算結果	128
表 7-1 後續建議計畫	144

圖次

圖 1-1	研究程序與內容	10
圖 2-1	多重災害與風險分析架構	14
圖 2-2	災害風險導向管理機制與調適程序	17
圖 2-3	多重災害評估與應用程序	22
圖 2-4	Charleston County 之多重災害頻率	24
圖 2-5	Charleston County 多重災害損失分布	24
圖 2-6	土城市多重災害風險分布	25
圖 3-1	整合性多重災害風險評估架構	34
圖 3-2	MRA 多重風險評估程序圖	35
圖 3-3	MURLUMSS DSS 分析架構	38
圖 3-4	HAZUS-MH 颶風模組系統架構圖	40
圖 3-5	HAZUS-MH 地震模組系統架構圖	41
圖 3-6	HAZUS-MH 洪災模組系統架構圖	42
圖 3-7	ShakeOut 情境模擬的構成要素	44
圖 3-8	TELES 系統架構圖	46
圖 3-9	脆弱度、回復力與調適力三者的關係	49
圖 3-10	對於脆弱度與回復力研究的體系	51
圖 4-1	火災危險度測定流程	76
圖 4-2	LIFESim 模型概念圖	89
圖 4-3	救援的循環圖	90
圖 5-1	Hyogo 架構計畫的三大原則與指標	102
圖 5-2	緊急應變之步驟	113
圖 5-3	德黑蘭正在興建之減災與管理基地分布圖	114
圖 5-4	緊急輸送之步驟，以防止德黑蘭地震發生後在現場的醫院不敷使用	117

第一章 緒 論

第一節 背景與目的

壹、研究背景

2009年8月8日莫拉克颱風帶來超大集中降雨，引發深層崩塌之大規模土石流及大範圍淹水之多重災害，重創南台灣。2011年3月11日本發生東日本大震災，出現地震、海嘯及福島核電廠輻射外洩事故等多重災害，造成前所未見之大災害。為此，聯合國國際減災策略署(UN/ISDR)公布「2011世界防災白皮書」，提及東日本大震災之地震、海嘯及核電廠輻射外洩之多重災害，並呼籲世界各國有必要面對現代社會因技術複雜性及相互依賴性所衍生新的災害脆弱性加以處理。

今後於全球氣候變遷影響下極端天氣狀況發生可能性增加，導致出現多重之天然及人為災害之機率亦將提高，且災害規模之大、影響範圍之廣與影響時間之久，早已逾越過去都市防災計畫所能因應之範圍。基此，為因應多重災害之發生，考量人類能力有其侷限，難以對抗大自然之肆虐，未來推動都市防災計畫於觀念、功能及辦理方式上均宜檢討，以期自新思維、新技術面對災害，設法與災害共存。

目前政府災害防救相關單位，正積極推動災害潛勢地圖（如洪災、土石流等）與防災地圖的製作與發布，及地區災害防救計畫、防災空間系統計畫擬定等，以藉之建置災害緊急應變、預警機制與城鄉災害防救體系（何明錦、洪鴻智，2007）。美國從2000年減災法案（US Disaster Mitigation Act of 2000; DMA 2000）修訂後，亦規定須透過多重災害地圖（multihazard maps）的繪製，評估地區災害特性與脆弱度，以利於推動高災害潛勢與高脆弱度地區的減災與災害調適工作（Tate et al., 2010）。

政府為因應災害管理，甚至為面對全球氣候變遷的挑戰，雖積極著手都市防災規劃或擬訂地區災害防救計畫。然如何落實災害防救工作於城鄉、空間與土地使用規劃，一直缺乏明確規範。造成擬訂都市計畫、土地使用計畫或推動都市計畫通盤檢討時，無法針對地區發展、土地使用、災害調適與防減災相關工作，提出具體土地使用與空間發展整合策略，而產生地方政府推動防災與災害調適工作的困難（陳亮全等人，2003；何明錦、洪鴻智，2007）。內政部建築研究所（以下簡稱建研所）為配合上述工作的推動，及試圖解決上述問題，乃分別於2000

年、2003 年與 2007 年，著手都市防災規劃手冊的編撰與修訂相關工作（何明錦、李威儀，2000；李威儀、丁育群，2003；何明錦、洪鴻智，2007）。其成果對於如何推動都市防災與防災空間系統規劃相關工作，甚至如何整合防災空間系統與都市計畫具有重要意義。

過去建築研究所（以下簡稱建研所），亦積極推動「都市防災空間系統」相關計畫。然因時空與災害環境之變遷，需更深入考慮氣候、環境變遷與極端氣候條件的衝擊。特別是需納入多重災害的衝擊，及其對防災空間系統計劃擬定的影響，以更有效擬定防災空間系統計畫（Tate et al., 2010）。然目前不管在都市規劃或防災空間系統規劃過程，皆較少從多重災害角度，思考其可能衝擊及空間規劃調適策略（adaptations）與調適力（adaptive capacity）¹（何明錦、洪鴻智，2007）。而使災害防救與減災工作推動，面臨嚴峻之挑戰。

貳、研究目的

現有不管是都市規劃或防災空間系統規劃，較偏重單一災害，較缺乏從多重災害角度，進行災害特性、損失與風險評估、災害設施需求分析，及進行實務規劃操作。造成相關規劃成果，難完整因應未來可能之全球環境變遷與多重災害衝擊。故本研究主要目的，在於擴充 2007 年建研所編訂之「都市防災空間系統手冊」。研究中將歸納：(1) 地震、洪災與坡地災害之多重災害潛勢、損失、脆弱度與風險分析模式；(2) 防救災設施（包含災害防救設施與重要基礎設施）需求估計分析方法，及(3) 防災空間系統規劃相關課題，以提出先期研究計畫綱要與方向，做為後續從事此等課題研究參考，及因應多重災害都市防災空間系統規劃推動所需。故本研究將系統性討論多重災害都市空間系統規劃議題，研究目的與預計完成之工作事項，可分項說明如下：

- （一）多重災害與防災規劃等相關國內外文獻回顧與其規劃體系、手法之變遷整理；
- （二）建立多重災害都市空間系統防災規劃之架構研究；
- （三）提出多重災害潛勢、損失評估、調查分析手法之相關研究計畫；
- （四）提出多重災害避難空間需求及區位需求之相關研究計畫：依據當地人口社會經濟、土地使用特性進行日間、夜間避難人口推估及估算災害發生所需避難之空間需求，並依避難人口估算避難空間之區位需求；

¹ Adger (2006) 將調適力定義為：「一個系統為適應環境災害或政策變遷，所產生之進化與擴展其應變範圍之能力」。而 IPCC (2001)，則定義氣候變遷之調適能力為：「一個系統為適應氣候變遷刺激、降低潛在損害、掌握機會或處理其影響或衝擊之能力」（詳細定義，可參見第二章第一節之說明）。

- (五) 提出因應多重災害之都市空間防災系統(含防災據點、路線等)規劃、防災人力與社會資源運用之相關研究計畫。

第二節 方法與內容

本節主要說明本研究採取之主要研究方法、進程序與主要研究內容。以下即分別說明之。

壹、研究方法

本研究採取之研究方法，主要包含下列三種方法：

一、文獻歸納法

由於本研究主要在於進行多重災害都市防災空間系統相關課題研擬，及提出可行分析與應用架構之先期計畫。故相關文獻蒐集與彙整，即須涵蓋多重災害分析與評估，及防災空間系統規劃應用相關研究議題與經驗。故本部分回顧之文獻，包含四個層面：(1) 防災空間系統規劃方法與應用經驗；(2) 國內、外多重災害潛勢、損失、風險與脆弱度分析與評估模式、方法與相關評估經驗；(3) 多重災害對於城鄉發展衝擊與災害管理，與(4) 多重災害防救災設施需求分析。此四部分之文獻，可提供本研究相關之研究架構、方法論與相關操作經驗，以利於研究推動。

二、多準則決策分析法

此方法在於協助本研究進行下列分析：(1) 建置災害（主要考慮地震、洪災與坡地災害等天然災害）之脆弱度與風險評估體系，以評估地方或社區之災害潛勢、損失、脆弱度與風險之特性與空間分布；(2) 篩選可行之防救災系統設施需求分析方法；(3) 歸納可行之防災空間系統規劃模式，以利於後續應用與推廣。

在進行多重災害評估過程，亟需瞭解影響災害潛勢、損失、風險與脆弱度的關鍵構成因素。這些因素的彙整與取捨，可透過文獻回顧與多準則決策（multiple criteria decision-making; MCDM）分析，以整合不同因素，及提出可行評估方法與內涵。本研究將透過焦點團體討論，歸納多重災害重要評估方法與構成因素，及進行因素取捨、整合與相對重要性的瞭解，以使評估結果更具綜合性與合理性。

三、焦點團體法

焦點團體法（focus group method）主要透過專家學者之焦點團體座談方式²，針對本研究面對之課題（包含研究架構、方法、成果等），以集體腦力激盪方式，

² 焦點團體法是一種團體訪問的質性研究方法，又稱為焦點訪談法。其乃由研究者擔任中介者的角色，透過團體成員的互動和討論，進行課題的討論、問題發現與衍生出新課題的一種研究與資料蒐集之方法（胡幼慧，1996）。

協助本研究提出較可行之策略，及使研究進程序與規劃成果更為周延。採用此方法之原因，在於其可更多元考慮不同背景專家學者觀點，而可透過多元參與、互動討論及集思廣益，協助解決研究計畫進行過程可能面對的課題。故焦點團體座談會的互動討論結果，不但有助前述相關研究方法的操作，亦有助將本研究成果更有效納入不同專家學者的意見與知識，得出更集思廣益的分析架構與可行方法。協助後續計畫與課題研擬，及防災空間系統規劃與城鄉規劃決策應用。

貳、研究程序與內容

本研究所採用之分析方法、內容與程序，乃奠基在何明錦、洪鴻智(2007)編撰之《都市防災空間系統手冊彙編增修》建議之規劃程序，再進一步納入多重災害評估，以擴充防災空間系統手冊擬定之空間系統規劃內涵與程序。為使研究進行過程，能融入更多理論體系與不同專業者的共識，使研究成果更為可行。在研究方法與程序上，將強化不同領域專業者的參與，及配合不同災害情境進行先期研究。故研究計畫之推動步驟、內容與方法，可彙整說明如下（研究計畫進行的程序與步驟可參見圖 1-1 之研究程序與內容）：

一、第一步驟：擬定防災空間系統規劃之目標與基本內涵

本研究的防災空間系統規劃，主要將多重災害潛勢、風險、損失與脆弱度評估結果，納入都市防災空間系統規劃。故本步驟工作重心，在於清楚界定都市防災空間系統規劃需達到的目標與完成內容。防災空間系統規劃目標與內涵的擬定，除須奠基在過去建研所關於防災空間系統規劃相關研究成果外，尚須納入地區災害防救計畫、都市規劃、都市計畫通盤檢討的相關經驗及地方防救災目標，以藉之研擬規劃程序、內容與方法，因應多重災害之潛在衝擊。

二、第二步驟：文獻回顧

進行多重災害都市防災空間系統規劃，除依建研所編撰之都市防災空間系統規劃手冊相關研究成果外，如何有效納入國內、外災害特性評估相關方法論、案例分析、災害防救相關理論與建研所從事多年防災空間系統示範區計畫的經驗，將是研究過程面臨的最大挑戰。故此部分將透過文獻回顧，彙整相關研究成果與發現，以提供後續發展本研究規劃模式、方法論設計與歸納相關研究成果之基礎。

本步驟進行方式，乃藉由歸納法，透過文獻的整理與回顧，瞭解較完整的多重災害都市防災空間系統規劃，須達成何種目標？多重災害潛勢、損失、風險與脆弱度評估有哪些主要方法？主要的法令依據為何？國內、外以往從事此等工

作，有哪些可供參考的經驗及需解決的課題？此工作如何有效整合土地使用規劃與都市規劃程序？如何有效納入減災、整備、緊急應變與災害調適策略？故主要回顧的文獻，包含下列層面：(1) 防災空間系統規劃方法與課題分析；(2) 多重災害潛勢、風險與脆弱度評估模式與方法，以及相關評估經驗、應用與案例分析；(3) 多重災害防救災設施需求估計方法與相關應用；與(4) 多重災害對於城鄉發展衝擊與災害管理。透過這些層面文獻回顧與相關資料彙整，有助於建立基本研究架構與操作概念，以落實後續研究工作與課題歸納。

三、第三步驟：研擬多重災害防災空間系統規劃基本架構

此步驟主要工作內容，乃根據前述防災空間系統規劃目標與文獻回顧成果，擬定都市防災空間系統規劃操作程序與內容。此步驟進行方式，主要仍奠基在建研所既有的研究基礎（何明錦、洪鴻智，2007），進一步擴充為多重災害模式，及彙整相關文獻發現。本步驟亦將透過焦點團體法，協助本研究擬定可行的防災空間系統規劃架構、分析程序與執行內涵（Alberini et al., 2006）。

此步驟成果，可建置如何將多重災害潛勢、損失、風險與脆弱度評估結果，納入防救災系統設施需求分析，及防災空間系統規劃的基本架構。此成果隱含為不同領域專家學者，與災害防救工作相關執行者的基本共識。惟防災空間系統規劃架構的可行性、執行過程可能隱含的課題、需配合的相關圖資資料庫及必需的配套措施，方能進一步確定。

四、第四步驟：多重災害潛勢、風險與脆弱度評估方法分析

本步驟主要工作內容，在於尋求可應用於多重災害潛勢、損失、風險與脆弱度評估之模式與方法。目前相關評估方法論，包含兩種主要類型：(1)應用巨災模型估計災害潛勢、損失與風險（例如，Ermoliev et al., 2000; 洪鴻智、呂銘哲，2010）；(2)透過多準則評估建立評估指標體系，評估災害風險或脆弱度（例如，Carreño et al., 2007; 洪鴻智、陳令禎，2012）。此步驟將綜合此兩類評估方法論，提出可行的評估模式與方法，以利於本研究後續工作進行，及提供未來推動多重災害都市防災空間系統規劃，進行災害特性評估之參考。

目前不管是透過巨災模型或多準則評估法，進行多重災害潛勢、脆弱度或風險評估，皆是透過個別災害評估，再進行加總，以得出多重災害潛勢、風險、或脆弱度評估成果（例如法國、美國、瑞士等）（Greiving, 2006）。故此步驟，即希望能蒐集各國評估不同災害潛勢、風險與脆弱度評估方法，及多重災害整合方法與相關應用經驗。透過相關方法與經驗蒐集，再佐以國內城鄉發展特性，探討可行的評估方法與提出相關課題，做為後續相關計畫建議之參考。

五、第五步驟：防災空間系統規劃需求分析

本步驟主要工作內容，在於配合前步驟之災害潛勢、風險與脆弱度分析成果，歸納後續防災空間系統規劃相關設施需求分析，及基本資料蒐集之相關方法與內涵。主要工作內容包含：(1) 回顧與歸納現有防災空間系統設施需求方法，及相關分析方法應用於防災空間系統規劃之可行性與相關課題；(2) 建議需求分析所需的地區基本圖資，包含土地使用、社會經濟、實質環境（biophysical environment）、建成環境（built environment）、防救災基本設施資料，及可能需進行之相關防救災資源與土地使用田野調查。

本步驟分析之主要目的，主在於確認第三步驟研擬之防災空間系統規劃基本架構，需提供的相關圖資資料庫，及需調查與蒐集的地區實質環境、土地使用與社會經濟發展現況資料，以及防救災空間系統設施相關之需求分析。目前需求分析之核心議題，除在於日、夜間人口估計外，亦需針對傷亡人口估計、避難設施型態與需求估計，提出可行之估計方法，及探討評估過程可能面對之課題與資料需求（Chang et al., 2012）。另外，快速都市發展與社會經濟條件變遷，亦可能會造成都市成長或範圍擴張，而影響災害衝擊與產生不同型態的防災設施需求（Davidson and Rivera, 2003; Davidson et al., 2003; Jain et al., 2005; Hung and Chen, 2007）。此部分亦將納入防災空間系統設施需求分析建議，及提出相關之課題與可能產生的研究與規劃限制，以提供後續研究參考。

六、第六步驟：防災空間系統規劃分析

本步驟主要工作，乃應用第三步驟建立基本架構之程序、步驟與內容，第四步驟選擇之災害特性評估方法，及第五步驟選擇防救災空間系統設施需求分析，提出後續防災空間系統配置之可行規劃方法。此部分之工作內容，乃配合第四步驟之多重災害類型的災害潛勢、損失、風險與脆弱度分析結果，防災空間供給、地區環境特性與多重災害防救設施需求估計，以及納入減災、緊急應變與災害調適概念，及城鄉發展規劃與災害管理策略，提出防災空間系統規劃相關方法。

此步驟將以建研所 2007 版的防災空間規劃系統手冊為基礎，強化多重災害整備、緊急應變與空間規劃調適策略之蒐集與檢討，以提供後續規劃與研究之參考。一般災害整備、緊急應變與調適策略，包含：災害資訊提供、預警、緊急應變中心設置、庇護所或避難空間、救災與疏散設施、緊急醫療、警察與救災、救災物資與人力配置與相關公共設施規劃與配置（Amini Hosseini, et al. 2009; Hughey and Bell, 2011）。目前針對此等設施之規劃與調適策略，多整合都市規劃、GIS 與透過多準則評估方式，依災害特性與都市發展條件，執行相關規劃工

作。此步驟乃回顧國、內外相關規劃模式與方法，檢討國內目前規劃狀況，及提出相關規劃課題、可行的規劃模式與後續研究推動方向之建議。

七、第七步驟：專家學者焦點團體分析

此步驟將透過專家學者之焦點團體座談分析方法，針對地區的：(1) 多重災害潛勢、損失、脆弱度或風險分析；(2) 多重災害防救災設施需求估計；(3) 減災、整備、緊急應變與災害調適策略的建議，及土地使用規劃融入防災空間系統規劃程序的建議等，提出可行的分析（評估）或規劃方法，及可供發展的後續研究與相關計畫。

焦點團體法之進行方式，將以防災領域的相關專家學者（包含災害特性分析、災害風險管理、環境資源規劃、都市規劃等領域）、政府災害防救相關執行單位等人員，組成焦點團體。透過座談會與討論方式，協力探討本研究進行過程面臨之課題與提出可行的解決策略。換言之，焦點團體法操作的主要目的，在於透過團體參與、互動與對話，協助本研究得出可行之災害潛勢、風險、損失與脆弱度評估方法，建置合適之防災空間系統規劃架構，以及提出城鄉發展規劃、減災與災害調適策略整合的重要原則（Jenkins-Smith et al., 2002），以助於後續研究工作的進行。

由於防災空間系統規劃的主要目的，乃希望能融入土地使用規劃、減災、整備、緊急應變與災害調適的概念於既存的防災空間規劃體系。然欲選擇適合於國內多重災害相關分析與評估方法，及可行的防救災設施需求分析與空間系統規劃策略，仍須透過專家學者之參與分析與討論，方有利於得出較周延之策略。亦可透過焦點團體討論之集思廣益，協助本計畫彙整目前國內推動多重災害分析、災害防救與規劃之主要課題，與提出後續可行計畫。

八、第八步驟：修正與檢討初步擬定之防災空間系統規劃架構

此步驟的主要工作內容，在於增進本研究提出之多重災害特性評估方法，及防災空間系統規劃架構內容落實的可能性。進行方式乃藉由文獻回顧、應用案例與經驗歸納與焦點團體座談，針對第三步驟初步擬定的防災空間系統規劃架構，及災害特性評估方法進行檢討與修正。故此步驟需整合第三、四、五、六與第七步驟的成果，依分析成果重新彙整可行防災空間系統規劃程序，及建議較可行的多重災害特性評估方法、需求分析與提出可能面臨的課題。本步驟亦將結合專家學者焦點團體討論，透過與會專家學者的經驗與建議，修正第三步驟的規劃架構，與第四步驟建議的災害特性評估方法，提出較可行的防災空間系統規劃程序與災害特性評估模式，做為後續相關研究與規劃工作推動之參考。

九、第九步驟：提出防災空間系統規劃相關計畫與課題

藉由前一步驟之防災空間系統規劃程序的修正與檢討，本步驟將分別依據下列四個層面：(1) 多重災害潛勢、損失、脆弱度或風險分析；(2) 多重災害防救災設施需求估計；(3) 防災空間系統規劃程序與方法；(4) 多重災害減災與整合性規劃程序。提出國內在這些層面之相關分析與規劃之課題，及可擴展或後續研究之議題與計畫。

因本計畫屬於先期計畫性質，故須提出後續可延續之相關計畫與課題。這些計畫乃基於以上述四個層面，提出更具體之後續研究計畫與課題，包含：(1) 多重災害潛勢、損失評估、調查分析方法之相關研究計畫；(2) 多重災害避難空間需求及區位需求之相關研究計畫：依據地區人口社會經濟、土地使用特性進行日間、夜間避難人口推估及估算災害發生所需避難之空間需求，並依避難人口估算避難空間區位需求之相關研究計畫；(3) 因應多重災害之都市空間防災系統(含防災據點、路線等)規劃、防災人力與社會資源運用之相關研究計畫；(4) 多重災害減災與空間整備、緊急應變規劃程序與準則。

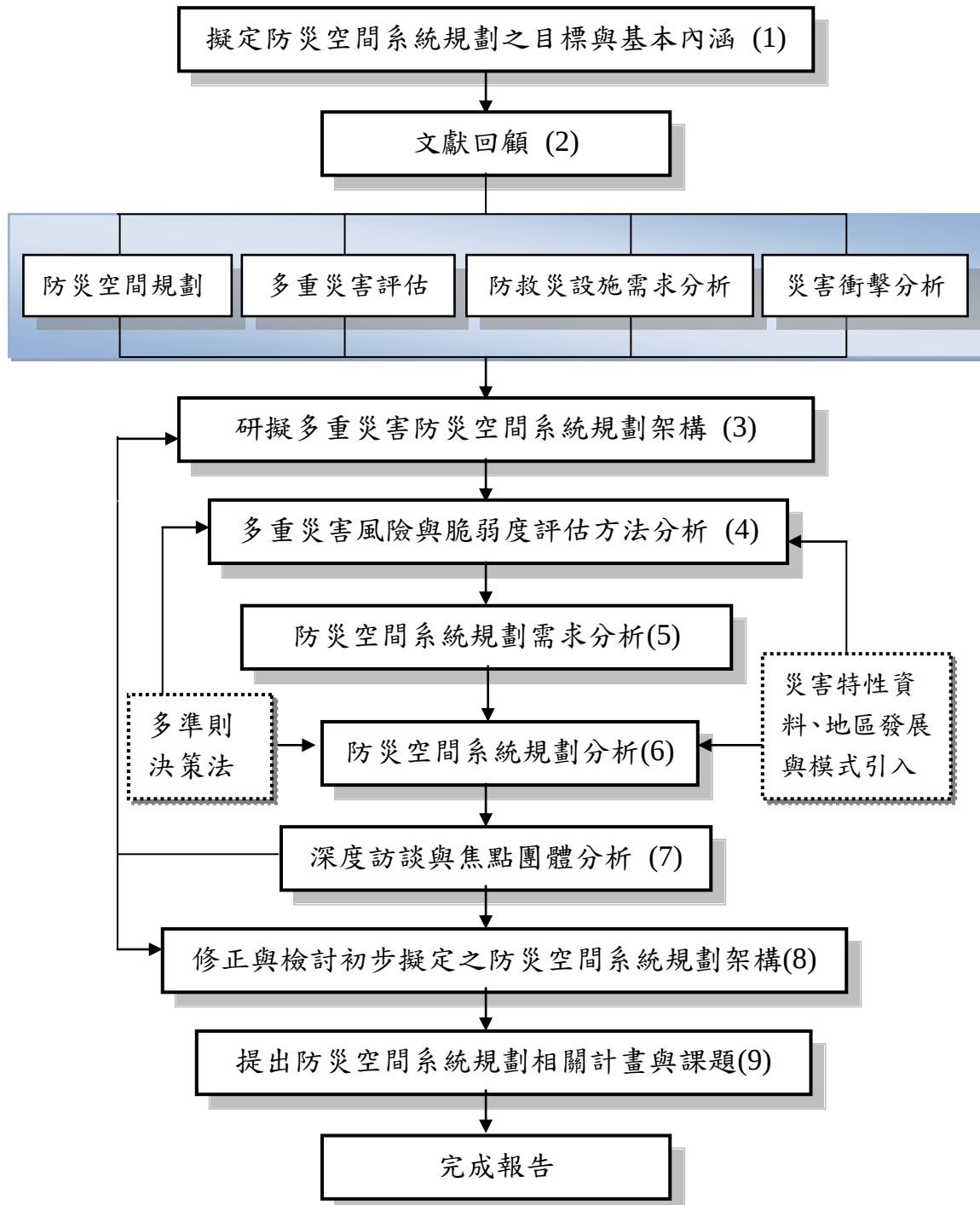


圖 1-1 研究程序與內容

資料來源：本研究繪製

第二章 多重災害相關研究

第一節 多重災害概念

關於多重災害之基本涵義，目前在各國與相關研究並無共通性的精確定義，既有研究對於多重災害仍偏重在基本概念的討論。事實上，多重災害的討論，遠從早期探討天然災害與脆弱地區關係，所提出之壓力－釋放 (pressure-and-release; PAR) 或壓力－狀態－釋放 (pressure-state-response; PSR) 模型，即提出多重災害概念 (Blaikie et al., 1994; Hewitt, 1997)。PAR 與 PSR 模型認為災害風險的形成，乃源於災害的威脅及受體的脆弱度 (vulnerability)。故災害損失或風險的形成，是災害與脆弱度的互動結果。此觀念常應用於災害風險評估，而提出下列簡要的災害風險操作模式 (Greiving et al., 2006)：

$$\text{災害風險} = \text{災害} \times \text{脆弱度} \quad (2-1)$$

其中之災害，可以是單一災害或多重災害。因而引發的災害風險，亦可以為單一或多重災害。

Cutter (1996) 乃提出不同於 PAR 或 PSR 模型的觀點，而建立災害的地區導向脆弱度模式 (place-based vulnerability model; PBVM) (Cutter, 2003; Cutter et al., 2008)。PBVM 強調災害分析可以特定空間或地區為出發點，探討地區災害損失或災害風險形成的機制。其提出災害風險與損失的差異，主要決定在脆弱度。地區脆弱度的形成是眾多因素所構成，不同因素會形成不同的地區脆弱度特性。故脆弱度是許多致災因素的互動結果，而非造成災害的原因。此概念常應用於，所謂的「多重災害分析 (multi-hazard approach)」或「全災害分析 (all-hazards approach)」相關之災害評估與災害管理工作。因而 PBVM 認為脆弱度評估是瞭解地區或特定空間災害特性，與評估潛在災害風險的重要工作，常應用於空間規劃與地理學分析 (Greiving, 2006; Greiving et al., 2006)。

PAR、PSR 模型常應用於一般的災害特性與災害風險評估領域，因其將「災害」視為引發災害損失的實質要素，而脆弱度則定義為：「系統或社區對於天然或人為災害的脆弱程度」(Blaikie et al., 1994)。故脆弱度是針對特定地區而言，須考慮地區之災害暴露 (exposure) 特性 (包含人口、基盤設施、土地使用) 與調適能力。PBVM 則較常使用於地區或區域脆弱度評估，其認為脆弱度是許多社會經濟與天然 (或地區實質環境) 互動的結果。故 PBVM 將脆弱度視為負面的用語，定義脆弱度為：「反應系統或社區缺乏有效吸收災害影響的能力或資源條

件，包含暴露與敏感性因素」(Tate et al. 2010)。

不管是應用 PAR、PSR 模型或 PBVM，於防災空間系統或空間規劃，皆須考慮特定空間可能存在的多重災害與脆弱度特性。尤其是需特別關注，特定空間可能發生的災害，及其影響之人口、社會經濟、基盤設施與土地使用內涵。故從特定空間系統，分析災害特性與災害風險，及探討災害防救或減災工作，需應用整合性分析 (integrated approach)。

整合性分析強調以特定空間為分析單元，同時考慮災害與脆弱度因素，以做為空間減災與災害防救系統規劃之基礎。整合性分析認為災害衝擊，乃特定空間實質環境與社會經濟特性互動產物。地區災害衝擊特性，決定在地區內在條件與暴露於外在災害特性的互動關係 (Turner II et al., 2003)。防災空間系統規劃，即須建立在特定空間涵蓋的可能災害 (常是多重災害或全災害，而非單一災害)，及受災害影響的實質環境、社會經濟條件、應變調適能力、設施與資源條件，與暴露於外部災害的特性。分析空間災害特性即需整合評估空間之既有 (災前) 脆弱度條件 (包含實質、社會經濟、建成環境)，及災後資源應用之回應、調適及學習能力 (Füssel, 2007)，以建立地區災害防救系統。

從上述歸納，空間之災害分析與災害防救規劃，需應用多重災害分析。其中多重災害可定義為：「單一或多重系統、社區或空間，同時暴露於多種可能災害類型、頻率與程度之特性」，而多重災害分析，則可定義為：「單一或多重系統、社區或空間，暴露於多種可能之災害特性、類型、頻率與程度，及可能之災害衝擊、損失、脆弱度、回復力與調適力相關分析」。故多重災害分析，即指在執行防災空間系統規劃過程，須考慮該空間 (或跨空間) 之可能災害、暴露條件、脆弱度、回復力與調適力。另與多重災害類似概念之複合型災害，可定義為：「除直接造成損害之災害外，可能引發二次相關災害之複合性損害、傷亡狀況」。其中災害特性屬於空間之外來威脅與實質環境特性，會因區位與所處實質環境特質差異，而有不同的災害特性。此分析概念與「全災害分析」非常類似，皆是強調特定地理空間之災害防救工作，須考慮該空間範圍內之可能災害，而非單一災害。

另關於脆弱度，目前雖亦不存在共通性之定義。但在整合性與多重災害分析中，常須綜合 PSR、PAR 與 PBVM 的定義 (洪鴻智、陳令韜，2012)。故在整合性弱多重災害分析，脆弱度的定義常引用 IPCC (2001) 之定義，其定義內容為：「一個系統面對氣候變遷與極端氣候的易受傷害、無法處理與負面影響程度」。故脆弱度是系統暴露在氣候變遷下之敏感性與調適力特性、程度與比率之函數，而可

表為³：

$$\text{脆弱度} = f(\text{暴露, 敏感性, 調適與回應力}) \quad (2-2)$$

表 2-1 基本用語主要定義

項目	定義與參考文獻
多重災害	單一或多重系統、社區或空間，同時暴露於多種可能災害類型、頻率與程度之特性（本研究）
多重災害分析	單一或多重系統、社區或空間，暴露於多種可能之災害特性、類型、頻率與程度，及可能之災害衝擊、損失、脆弱度、回復力與調適力相關分析（本研究）
複合性災害	指除直接造成損害之災害外，可能引發二次相關災害之複合性損害、傷亡狀況（例如地震災害，引發之海嘯、水壩潰堤等複合災害情境）（Hewitt, 1997）
災害	- 發生特定強度、地區、持續時間與可能造成特定損失與傷亡之災害事件的機率（UN ISDR, 2005） - 可能引發傷亡、財產損失、基礎設施破壞、農業損失、環境破壞、產業損失或相關層面損失與損害之事件或實質環境（California Emergency Management Agency, 2010）
災害風險	災害風險＝災害×脆弱度（UN ISDR, 2005）
脆弱度	- 一個系統面對氣候變遷與極端氣候的易受傷害、無法處理與負面影響程度（IPCC, 2001） - 系統或社區對於天然或人為災害的脆弱程度（Blaikie et al., 1994） - 反應系統或社區缺乏有效吸收災害影響的能力或資源條件，包含暴露與敏感性因素（Tate et al., 2010） - 一系統或地區在面對特定擾亂源下，可能受到傷害的暴露與敏感性，及進行改變或調整的可能性（本研究）
暴露	系統與特定擾亂源的關係、關係程度與持續時間（Adger, 2006）
敏感性	系統受擾亂源改變或影響之程度（Adger, 2006）
調適力	- 一個系統為適應環境災害或政策變遷，所產生之進化與擴展其應變範圍之能力（Adger, 2006） - 一個系統對於調整變遷、調節影響與處理外來干擾的能力（Brooks et al., 2005; Cutter et al., 2008）

資料來源：本研究整理

³. 此定義之函數型態可參見 Yohe and Tol (2002) 與何明錦等人(2009)之說明。

IPCC (2001)之脆弱度定義是最常被引用的定義之一，但針對防災空間系統規劃，須將空間特性與災害調適力，更具體納入脆弱度定義中，特別是需考慮影響脆弱度相關要素在不同空間的變化特性（Schmidtlein, et al., 2008），利於提出符合地方環境特性之災害調適策略，以降低災害損失與風險。故本研究將脆弱度定義為：「一系統或地區在面對特定擾亂源下，可能受到傷害的暴露與敏感性，及進行改變或調整的可能性」。另相關之複合性災害（compound hazards）、暴露、敏感性與調適力之定義，則一併歸納於表 2-1。

透過上述定義，可將多重災害分析，分為：災害與脆弱度分析，透過兩者的分析則可歸納出災害風險。圖 2-1 顯示，不同災害具有不同強度與發生機率特性，而構成不同之災害潛勢。災害脆弱度之構成要素，包含：暴露、敏感性與調適力；而災害與脆弱度之互動，則共同構成災害風險。

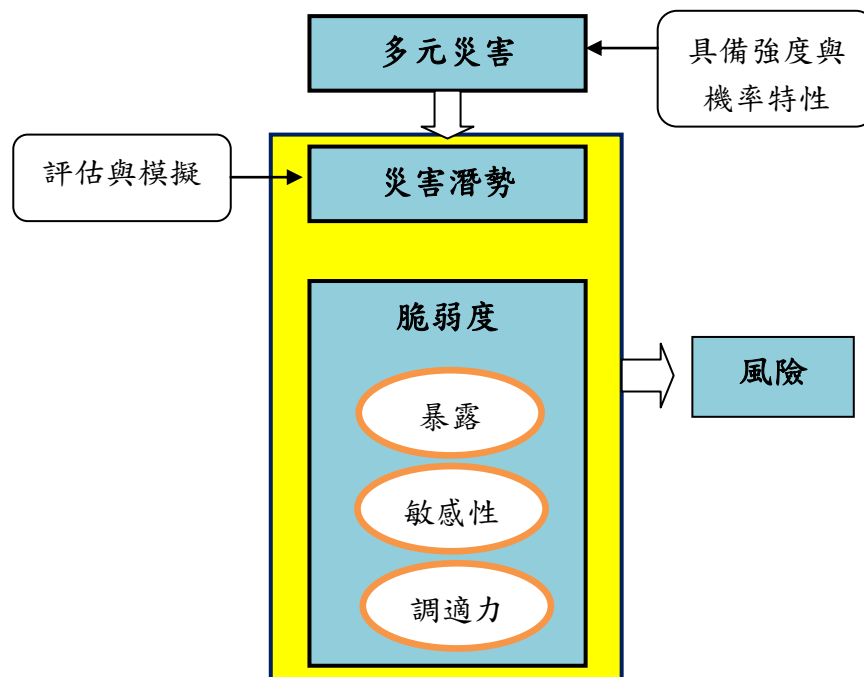


圖 2-1 多重災害與風險分析架構

資料來源：本研究整理

第二節 多重災害評估與空間規劃

壹、多重災害規劃與整合性分析

由於全球環境變遷及快速都市化，造成暴露在高度災害威脅的人口與地區迅速擴大（洪鴻智，2010；詹士樑等，2010）。此課題尤其對於地方與都市空間規劃與災害管理，形成巨大挑戰。傳統對於災害防救的分析，較關心如何控制災害或在災害發生後的應變與救災。但此種模式，已難面對日益詭譎與迅速變遷的環境。故近年研究，漸強調「整合性災害防救」模式的推動。特別是從減災及降低災害衝擊角度，思考如何有效提升政府與居民的災害調適力，及有效率的分配防救災資源（Næss et al., 2006; 洪鴻智，2010）。

另近年來，從 2009 年 8 月的莫拉克颱風，至 2011 年 3 月日本東北地區發生的地震、海嘯與核電廠熔毀事件，皆可發現隨著災害規模的擴大，形成的災害衝擊不但愈來愈嚴重，且愈來愈多元。此已非傳統的單一災害分析或災害防救模式，可完全涵蓋。因其涉及的災害危害、風險與衝擊，甚至造成的災害損失與損害類型，皆隱含巨大的不確定性與高度複雜性。因而災害防救課題分析，已愈來愈強調整合性分析，亦即須在分析與規劃過程，更有效納入多重災害、脆弱度、回復力 (resilience) 與調適力特性 (Cardona, 2004)。

整合性分析或災害防救，除強調在災害管理需綜合考慮多重災害的威脅外，亦須綜合觀察暴露在這些災害影響下的環境脆弱度。特別是災害脆弱度評估，是協助決策者研判所管理之實質（或生物物理 (biophysical)）與社會系統，有哪些環節特別易受傷害、弱勢與資源匱乏者之重要工作 (Adger, 2006)。故整合性災害防救是一種「概念上的整合」，包含社會經濟、人文與實質環境系統的整合 (Füssel, 2007)；透過這些層面的整合，可做為災前評估、災害風險降低、緊急應變、災害調適與防災空間系統規劃工作推動之基礎 (洪鴻智、陳令韜，2012)。

現行「災害防救法」與都市計畫相關法令，針對都市防減災，仍缺乏從地區發展特性與災害對都市發展衝擊的角度，提出多重災害風險導向 (risk-based) 的空間系統規劃方法 (何明錦、洪鴻智，2004; 2007)。然地方政府如欲透過都市規劃或土地使用規劃工具，推動防減災工作亦非易事。因欲成功推動防減災的土地使用與空間發展政策，尚需具備下列條件 (Comerio, 2004)：(1) 地方政府需更有彈性及能力決定適合的土地開發模式；(2) 需持續強化減災與災害風險的知識與相關政策的落實。這些事項非單純的土地使用管制即可達成，而需清楚掌握

城鄉發展暴露在不同類型災害潛勢、損失與風險、災害脆弱度特性，及其空間分布特性與可能的時空變遷，再配合提出災害風險管理措施與合適的空間規劃與災害調適策略（洪鴻智等人，2008；陳建忠、洪鴻智，2008; 2010），方能有效推動防減災工作。

為提升地方或社區城鄉規劃與城鄉發展的災害防救與災害調適能力，有必要透過風險導向的規劃模式，引入都市防災空間系統規劃於都市發展規劃，以降低災害預期損失，及做為該地都市發展與災害管理之決策支援（Hung and Chen, 2007）。尤其是從地方或社區導向（community-based）的多重災害風險管理角度，在推動都市開發過程，特別強調須歸納出特別高災害風險或高脆弱度地區，做為災害管理與防災空間規劃的核心地區（Krishnamurthy et al., 2011）。這些核心地區必須同時引入適當災害調適機制，整合城鄉規劃與防災空間系統規劃，以更能面對都市快速發展帶來的快速脆弱化與多重災害風險課題。

本研究即透過多重災害風險導向規劃模式，提出防災空間系統規劃過程，進行災害潛勢、損失、風險與脆弱度評估的可行方法，再藉由這些評估成果評估災害防救資源需求與擬定防災空間系統計畫。規劃結果除可做為地方或社區導向之防災空間系統規劃外，亦可做為城鄉規劃、都市計畫通盤檢討之基礎，以及地方政府研擬災害防救計畫，與災害管理相關災害調適策略之依據。

貳、多重災害分析與管理架構

災害風險導向之規劃模式，為近年都市規劃與防災空間系統規劃的重要發展趨勢（Olshansky and Wu, 2001; Hung and Chen, 2007）。此模式主要將都市規劃與防災空間系統規劃視為災害管理與災害調適策略的重要一環。換言之，災害風險導向規劃模式，是將災害風險分析、災害管理調適策略擬定與災害風險溝通視為系統性的操作程序。此操作程序，可簡單包含三個階段（如圖 2-2 所示）：災害風險分析、建立災害風險管理與預警疏散制度，及擬定政府與居民調適策略。其中第一階段之災害風險分析，主要依據災害特性、發生機率與強度等實質特性，分析災害發生潛勢、損失、脆弱度與風險特性。

第二階段災害風險管理與預警制度之建立，重心在於依據災害風險分析成果，製作災害地圖，及藉之制定減災、災害整備與緊急應變、防災空間系統計畫、土地使用管制等災害緊急應變與預警機制（Basta et al., 2007）。其中防災空間系統計畫擬訂，須以多重災害潛勢與風險分析成果為基礎，整合地方災害防救計畫，建立完整的配套、緊急應變與災害預警機制。第三階段為政府與居民調適策

略擬定，主要工作為在災害風險評估與災害緊急應變、預警疏散機制建立完成後，透過政府體系與風險溝通機制，告知政府防救災相關單位，關於地區之災害潛勢與風險分布特性、災害整備、緊急應變與預警計畫內容，及與居民進行互動與溝通。使居民真正瞭解社區災害潛勢與風險特性，與相關之災害防救計畫與機制內涵（Arlikatti et al., 2006）。故透過圖 2-2 所示三個程序，可清楚瞭解災害風險評估、災害風險管理與預警機制、政府與居民調適策略間之關係，及災害風險溝通扮演之角色。本研究分析之出發點，即希望以圖 2-2 所示災害風險導向之災害管理與調適機制為出發點，應用於防災空間系統計畫。

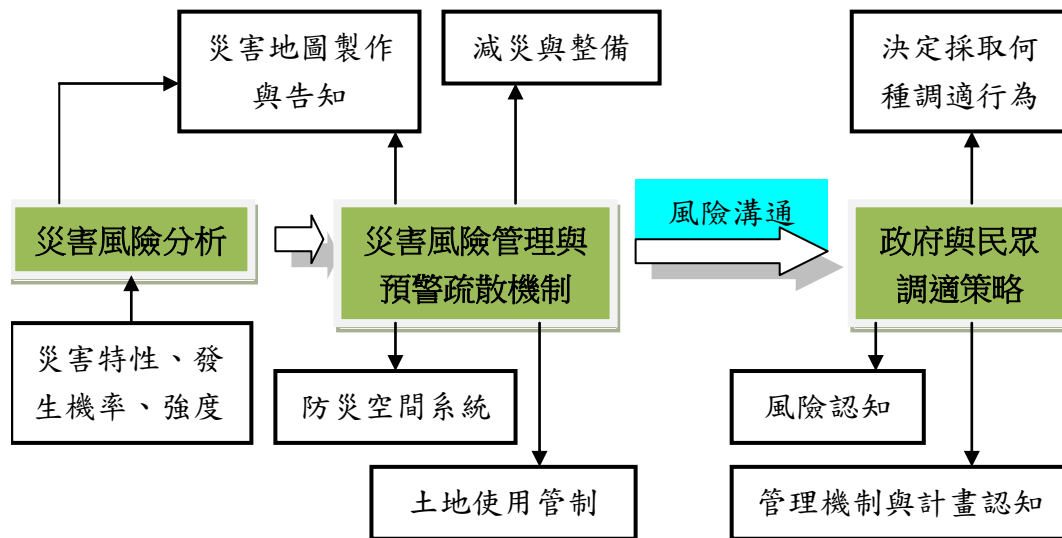


圖 2-2 災害風險導向管理機制與調適程序

資料來源：本研究整理

參、災害風險與脆弱度分析

關於災害潛勢、風險與脆弱度評估，因對於災害風險與脆弱度具有不同定義與概念，故存在不同的分析與評估方法。目前較常被引用的概念，為聯合國減災組織（United Nations Disaster Relief Organization; UNDRO）（1980）在 *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* 報告中，提出的災害定義。其說明災害涉及的概念，除災害潛勢外，尚涉及暴露、脆弱度與風險等四個層面之關係，而這些層面之關係可表為：

$$\text{災害風險} = \text{災害} \times \text{暴露} \times \text{脆弱度} \quad (2-2)$$

式(2-2)與式(2-1)之差異，在於前者將暴露與脆弱度視為獨立。在實際應用於災害風險評估過程，須視災害特性與評估地區特質，選擇適合之災害風險模式，以更

有效透過評估結果，支援災害防救規劃、減災、整備與緊急應變預警機制。一般進行式(2-1)或(2-2)之估計，主要有兩類方法論：(1) 應用巨災模型估計災害潛勢或風險，(2) 透過多準則評估模式建立指標體系，評估災害風險指數或風險組成。

第一種方法，主要透過理論模型或歷史事件資料蒐集，建立電腦模組，再廣泛蒐集基本資料，進行電腦或情境模擬。亦即，主要將式(2-1)或式(2-2)之災害潛勢、暴露、脆弱度分成不同標的⁴，應用不同災害評估工具進行個別評估後，再進行整合。其中第一部分評估災害機率、頻率或潛勢，常引用不同巨災模型估計，此方法相關應用，例如，Mahdyiar and Porter (2005) 提出之巨災模型；Hung and Chen (2007)；Ho et al. (2007) 與洪鴻智等人 (2008) 提出之地震風險評估方法，乃應用 HAZ-Taiwan 與 TELES 估計地震衝擊與損失。另在風災與水災方面，則有應用 SOBEK 系統或 SimHyd 模型評估暴雨一逕流量 (Haimes, 2009; Mishra et al., 2009)，及 Dettinger et al. (2012) 應用電腦模擬評估冬季暴風災害風險。

第二種分析方法則主要透過災害潛勢、暴露與脆弱度的指標體系建立，整合多準則評估方法或地理資訊系統，評估不同層面之災害風險或衝擊。此方法評估結果，可應用於不同地區之災害比較性風險分析 (Cutter et al., 2003)，亦可支援減災計畫、都市發展規劃，與災害整備、緊急應變與相關災害調適策略。例如，Carreño et al. (2007) 曾應用此方法評估地震風險，洪鴻智、陳羚怡 (2007) 評估洪災風險，而何明錦等人 (2009) 亦曾應用於地震風險評估。

透過上述分析方法，可評估與分析特定地區不同災害發生機率、強度、災害脆弱度與可能之災害損失。甚至可透過不同情境假設，瞭解全球氣候或環境變遷下，可能造成之災害風險與相關衝擊 (Dessai et al., 2005)。此等災害潛勢或風險評估結果，常會結合地理資訊系統，以災害地圖方式呈現，以利於向民眾告知與溝通，並藉之擬定相關減災、疏散避難、防災空間系統計畫與土地使用管制等災害預警與調適機制。

地方或社區面對的災害類型，可能包含大氣型（如颱風）、地質型（如地震）、水文型（洪水）或人為災害。然在特定地區或社區空間系統，欲有效整合這些不同類型災害於規劃應用，仍是極大之挑戰。因欲釐清不同類型災害特性，首先即須進行災害界定。災害界定之內容包含災害強度、規模、頻率、造成損害比率、持續時間、發生間隔、衝擊空間範圍等特性 (FEMA, 1997; Mileti, 1999)。傳統

⁴ 關於脆弱度與暴露關係，在 Gallopín (2006) 有詳細之討論。有些研究認為暴露為脆弱度的一部分（例如 Adger (2006) 與 Luers et al. (2003)），故脆弱度＝敏感度（sensitivity）×暴露機率。另有些分析認為脆弱度與暴露須分開考慮，例如 Gallopín (2006)。故目前對於兩者的關係，並無具體共識。然將暴露視為脆弱度一部分者仍占多數，故本研究暫將兩者合併討論。

災害界定，多偏重單一災害特性描述，關於多重災害的界定，仍是新興研究領域。

目前常見的多重災害界定方法，主要分為三種：(1) 將不同災害視為獨立事件，個別分析災害特性後，再將多重災害進行整合（例如，Tate et al., 2010）；(2) 考慮特定災害引發的衝擊或二次災害，例如，地震引發的海嘯、火災、水壩潰堤或核電廠熔毀等天然或人為災害（例如，美國 HAZUS），此種方法亦有相關文獻將之成為「複合性災害」（例如，Hewitt, 1997）；(3) 第一與第二種方法的整合。第一種方法在處理上與分析較為單純，較常為一般研究文獻所引用（例如，陳建忠、洪鴻智，2008; 2010）；第二種分析方法則相對複雜，此種分析方法，主要應用於「複合性災害」評估。目前相關模組的開發仍是亟待發展的新興領域。第三種方法，則是建立在前述兩種方法的進一步整合評估，乃最接近現實世界之災害特性，但亦最為複雜。

從事多重災害風險評估，較困難的課題，在於難掌握不同系統內的風險特性與系統間的互動關係。實際上，欲詳細釐清或進行所有環境次系統風險形成機制的一般性評估，幾乎是不可能的任務。故在規劃與管理的領域，近年來反而較強調評估成果的應用層面，而朝多重災害危險源與受體的區域性綜合效應評估，突顯災害風險效應在空間分布的特性、異質性與不確定性為主要的研究方向（Xu et al., 2004）。故常會整合多準則評估或決策分析方法，建立評估指標體系進行評估（洪鴻智、王翔榆，2010）。

關於多重災害評估的實際操作，早期 Hewitt and Burton (1971) 曾應用於英國倫敦之水文、地質、大氣與生物災害特性評估。其評估過程，曾有系統的討論多重災害，可能造成之人員傷亡、財產損失與設施的預期損害與衝擊。美國雖然在 1990 年代，即引入多重災害分析的理念於相關的減災政策中（FEMA, 1997），但仍是透過傳統單一災害模式，進行相關災害評估。直到 FEMA 提出災害衝擊方案（Project Impact Program）與 DMA 2000 法案的擬定，方真正較有系統納入多重災害特性與衝擊分析，於災害防救與城鄉規劃應用（Burbey et al., 1999; Tate et al., 2010）。

多重災害分析與評估相關方法論的開發，主要源於地區或社區導向的災害分析與相關模組開發。例如美國國家海洋與大氣署（National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA）設置之海岸設施中心（Coastal Services Center）開發之 CVA (community vulnerability assessment) 系統，即可應用於評估多重災害發生頻率、影響範圍與潛在規模（Flax et al., 2002）。邇來，FEMA 則進一步開發 HAZUS、HAZUS-MH 系列災害損失評估系統，評估地震引發的洪水、火災等災害直接與間接損失，以及地震與颶風引發的災害損失與傷亡評估（何明

錦、洪鴻智，2002），另外，Uitto (1998) 亦提出類似 HAZUS 之綜合性災害風險評估模型，在日本之應用經驗。另國內之 HAZ-Taiwan 與 TELES 亦屬於類似應用（但此兩個系統皆較偏重地震災害損失評估，而非屬多重災害評估系統）（陳亮全等人，2003；Hung and Chen, 2007）。

多重災害分析與評估方法，目前發展的趨勢多整合 GIS。此種評估工具的整合，不僅在災害潛勢與風險評估有此趨勢，在災害脆弱度評估亦愈來愈廣泛應用 GIS，使評估結果不僅在視覺效果能更有效展示，且在空間規劃應用上，亦更能發揮災害評估結果的效能與政策應用價值（Carreño et al., 2007; Simpson and Human, 2008）。特別是近年來，更強調災害特性與脆弱度評估過程，須引入民眾參與及將居民對於災害風險態度、認知與地方知識，納入災害評估與脆弱度分析（Krishnamurthy et al., 2011）。亦即，可透過參與式 GIS (participatory GIS)，將不同利害相關者的災害風險判斷、災害認知、地方知識與地方災害經驗，納入災害風險評估（McCall, 2008; Lindall and Hwang, 2008; Tran et al., 2009）。

現有進行災害潛勢、損失、風險或脆弱度評估，針對評估結果具有多種展示方式。一些研究偏重在以災害發生頻率或機率，顯示災害潛勢（例如，Tate et al., 2011 及國內水利署與水保局繪製之災害地圖）。有些研究則以災害之可能貨幣損失衡量災害風險（例如，Hung and Chen, 2007），亦有使用災害風險指數（例如，洪鴻智、陳羚怡，2007）。這些不同之災害特性展示方式，目前相關研究多已整合 GIS，且有綜合應用這些不同展示方式的趨勢。特別是在地區或社區導向的災害特性評估，傾向整合不同型態之災害特性，及其在空間之分布特質，以更有效支援災害整備、緊急應變與災害調適策略，及滿足不同層面的應用需求。

透過前述文獻回顧，本研究將彙整主要之多重災害評估方法論與評估經驗，提出多重災害潛勢、損失、風險與脆弱度之評估架構與方法，以及評估結果應用於防災空間系統規劃之可行模式，以利於支援城鄉規劃、減災、災害整備、緊急應變、災害調適相關政策，與防災空間系統規劃應用。

肆、多重災害特性評估與規劃應用

依 Kates and Kasperson (1983) 與 Smith (2001) 的歸納，從事城鄉發展災害風險分析與評估，需包含三個層面之工作：(1) 界定可能引發災害或損害的危險源，(2) 評估災害危險發生的機率，(3) 評估特定災害風險產生的社會經濟影響，包含財產、生態、生命與文化的衝擊。故「災害風險管理」即指從界定災害危險性（或潛勢）、透過風險分析與風險評估的成果，提出與評估對應的政策（或策略）的整體動態過程稱之。

在城鄉發展規劃的災害風險管理實務中，隨著處理災害危險源的差異，災害風險分析的課題，理論上應涵蓋地方實質環境系統、科技、自然危險（如大氣、地質、水文）、人文、經濟等系統或領域（Hewitt, 1997）。然傳統的災害風險分析或評估，較常從單一物質或災害危險源界定，及其風險評估與管理著手，較少從空間所隱含的多重危險、多途徑、多受體與多地點的向度，綜合評估區域的環境風險特性。造成災害風險評估與分析的角度，會侷限在單一且顧此失彼的災害認定困境中，而降低規劃內涵的實用性（洪鴻智、王翔榆，2010）。

目前許多國家皆在推動多重性或全災性災害管理或規劃模式，例如美國DMA 2000，即透過美國聯邦管制規則（US Code of Federal Regulations）規定地方政府須擬定減災計畫。這些計畫中，須指出地區災害類型、潛在受災地區、災害強度與災害脆弱度的風險特性。這些規定促使許多地區，引入多重災害風險潛勢、潛在損失與風險評估，以及納入傳統較忽略的社會經濟災害脆弱度評估（Tate et al., 2010）。例如，南卡羅萊納州的州地區減災計畫，即納入多重災害評估、災害地圖製作，以及相關重要設施、建成環境與社會人口脆弱度評估（SCEMD, 2007）。另外，在美國地質調查所（US Geological Survey）亦積極推動多項多重災害示範計畫（Multi-Hazards Demonstration Project; MHDP），協助加州之地方與社區推動減災與災害緊急應變計畫，以降低天然災害傷亡與損失（Dettinger et al., 2012）。這些計畫主要目的多在透過計畫擬定過程，瞭解規劃地區的不同災害特性、災害潛勢、空間分布，與受災害影響地區的社會經濟與實質環境脆弱特性，以支援地區或社區之減災、整備與緊急應變計畫。

目前多重災害評估與規劃應用，主要分析架構、內容與程序，可歸納於圖2-3所示。圖2-3顯示主要分析方法包含下列程序與內容（Gruntfal et al., 2006; Tate et al., 2010; Dettinger et al., 2012）：

1. 界定影響地區發展之可能災害類型；
2. 界定可能造成地區災害損失或人員傷亡之災害門檻；
3. 應用不同災害模型或模組，評估不同類型災害發生強度、機率分配與造成災害損失程度；
4. 評估災害脆弱度；
5. 繪製多重災害地圖、分析多重災害空間分布特性，及相關之城鄉規劃、災害調適策略擬定應用。

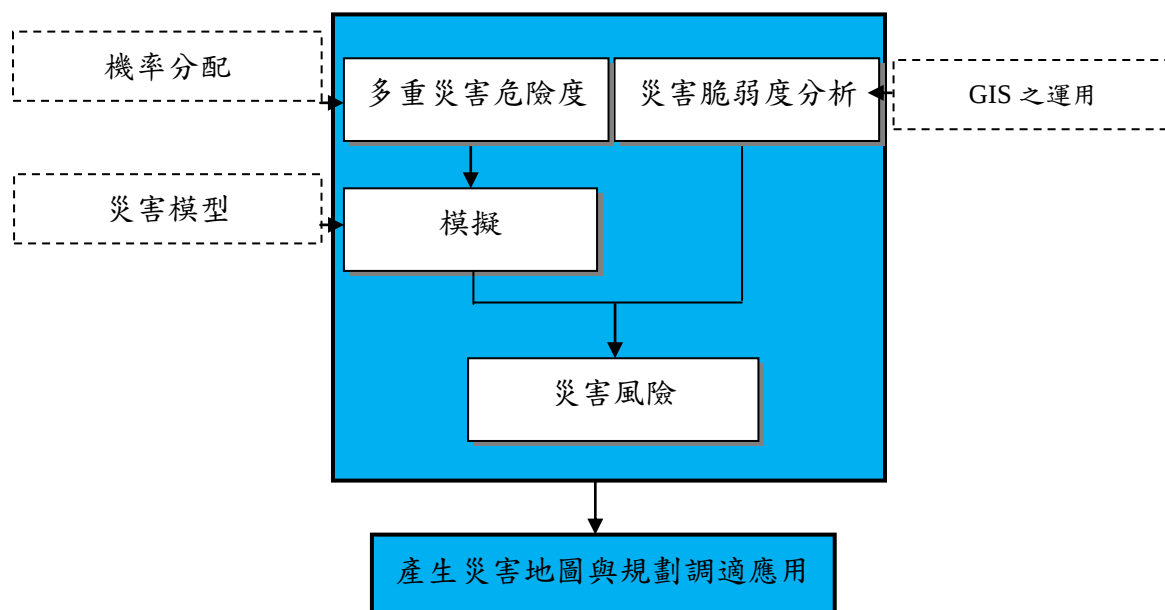


圖 2-3 多重災害評估與應用程序

資料來源：本研究整理

上述災害類型界定與災害門檻決定，指在評估過程須有效的界定規劃地區主要災害類型。例如，除常見的地震、洪災、坡地災害外，尚須依地區特性納入不同類型的天然與人為災害。當災害類型界定後，評估過程須決定不同災害類型中，可能造成損害的災害規模門檻。此規模門檻可能因地區不同而有差異，須在評估過程參考歷史災害紀錄或相關統計資訊 (Ermoliev et al., 2000)。而在災害衝擊地理範圍的評估，則亦須依災害類型與特性設定影響型態。例如，地震災害影響多以點狀擴散模式，颶風或颱風則以線性擴散與動態移動模式，暴潮或海嘯則以面狀模式進行模擬與設定影響範圍 (Tate et al., 2010)。最後，再透過不同整合方式，將各種災害影響型態方式進行地理上的整合（多應用 GIS 或多準則評估方法進行整合）。

另關於不同類型災害與災害規模的頻率或機率分配評估，主要分析方法除透過歷史事件蒐集與特性分析外，多引用不同類型之巨災模型 (catastrophic model) 進行模擬，以瞭解不同類型災害規模出現之頻率或機率 (Porter and Virkud, 2002; 洪鴻智、呂銘哲，2010)。例如，目前較常見的評估模組為美國 FEMA 所開發之 HAZUS 與 HAZUS-MH 系統，其可評估地震、颶風、洪水的災害潛勢、損失與潛在人員傷亡⁵。另外之分析模式，則是透過歷史災害的蒐集，進行電腦模擬，以瞭解災害危險性與可能衝擊分布 (洪鴻智、呂銘哲，2010)。

為瞭解災害可能帶來的災害損失、傷亡與衝擊程度，甚至為能有效應用多重

⁵ 詳細內容可參見美國 FEMA 介紹 HAZUS-MH 內容之網站(http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/hz_overview.shtm)。

災害潛勢評估結果於相關災害調適政策應用，須有系統的針對規劃地區，進行脆弱度評估。目前脆弱度評估主要方法論，包含五種類型：(1)風險－災害(risk-hazard)，(2)政治經濟，(3) PAR 或 PSR 模型，(4)整合性，與(5)回復力分析(Wisner et al., 2004; Füssel, 2007; 洪鴻智，2009；洪鴻智、陳令韡，2012)。產生不同方法的主要原因，源於對脆弱度概念與應用目的差異。其中整合性分析乃結合風險－災害與政治經濟分析，認為災害脆弱度，乃特定空間實質環境與社會經濟特性互動產物。亦即，災害脆弱度決定在地區內在條件與外在暴露於災害特性的互動關係(Turner II et al., 2003)。故分析脆弱度須以永續性為出發點，評估過程須整合評估空間之既有條件(包含實質、社會經濟、建成環境)，及災後資源應用之回應、調適及學習能力，建立脆弱度評估模型(Füssel, 2007)。此分析模式，符合城鄉與空間發展特性，故整合性分析較常應用於城鄉規劃研究(Turner II et al., 2003; Cutter et al., 2008; 何明錦等人，2009)。

Tate et al (2010)曾應用多重災害特性評估方法，進行多重災害潛勢、風險與脆弱度評估。其乃應用 GIS 分析與歷史資料整合，評估美國南卡羅來納州 Charleston County 之多重災害特性，評估結果如圖 2-4 與圖 2-5 所示。其中圖 2-4 顯示 Charleston County 之多重災害發生頻率之整合性災害地圖。從圖中可協助決策者研判評估地區高災害潛勢與高災害頻率地區之地理分布，做為相關規劃與災害調適決策之參考。另圖 2-5 顯示 Charleston County 之多重災害損失評估之空間分布。透過圖 2-5 可展示在多重災害影響，災害造成損失與衝擊的空間分布特性。評估結果可協助決策者，瞭解迫切需降低災害損失與災害風險的主要地區。在陳建忠、洪鴻智(2008)與陳建忠、洪鴻智(2010)進行三重市與土城市之防災空間系統示範區計畫，亦引用類似方法，評估兩個城市之多重災害潛勢、災害損失與風險空間分布。例如，圖 2-6 即顯示地震與水災災害潛勢整合脆弱度分析結果，所產生之災害風險空間分布。評估結果可支援防災空間系統規劃，及相關之減災、災害緊急應變與災害調適政策。

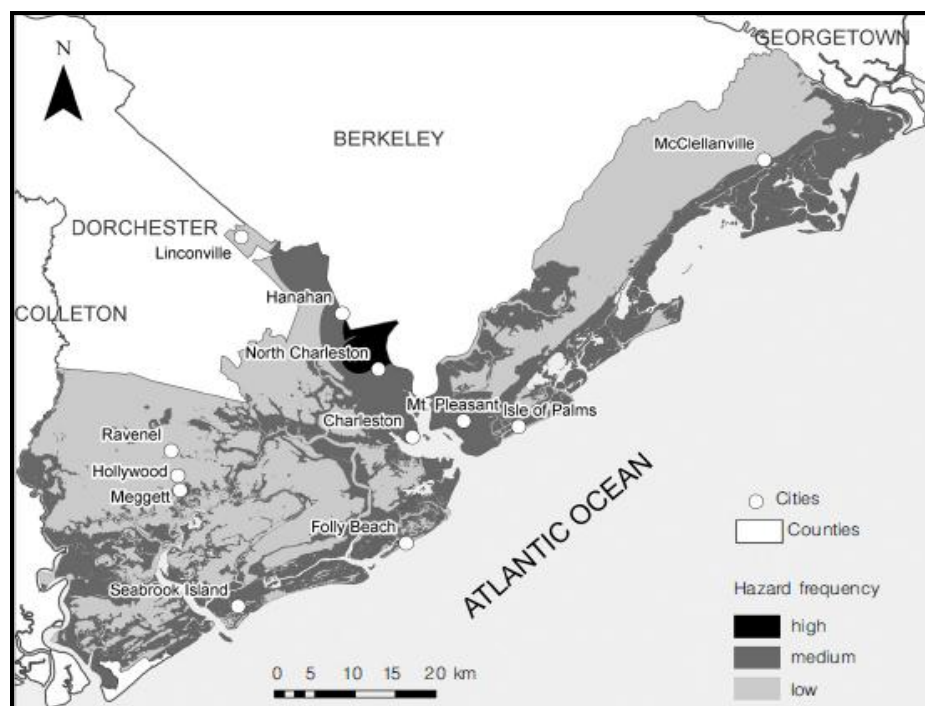


圖 2-4 Charleston County 之多重災害頻率

資料來源：Tate et al., 2010, Fig. 2

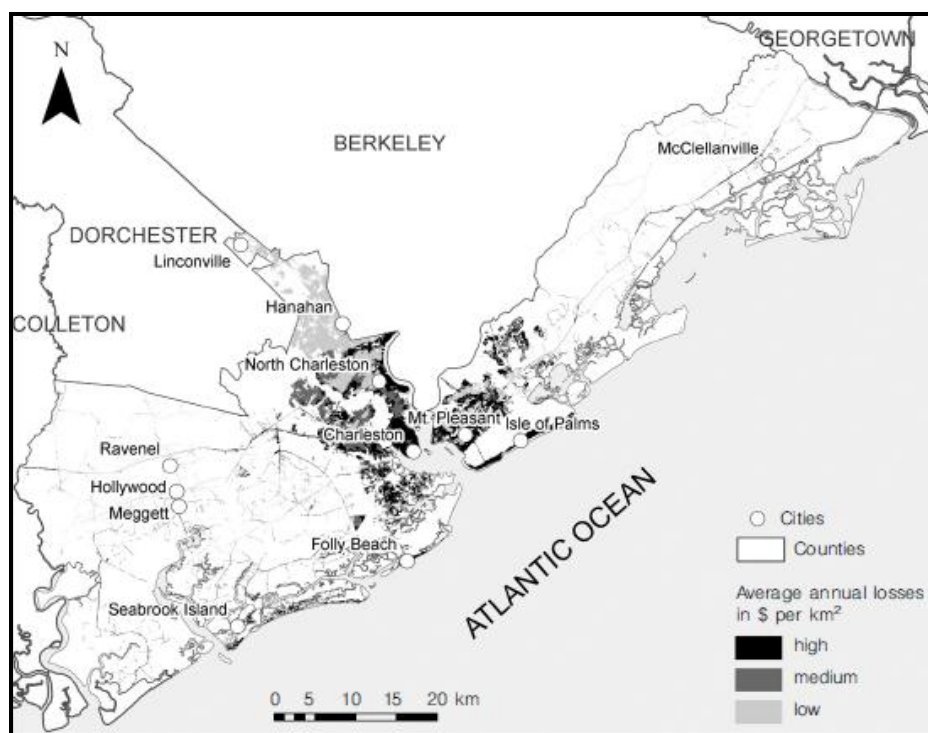


圖 2-5 Charleston County 多重災害損失分布

資料來源：Tate et al., 2010, Fig. 3

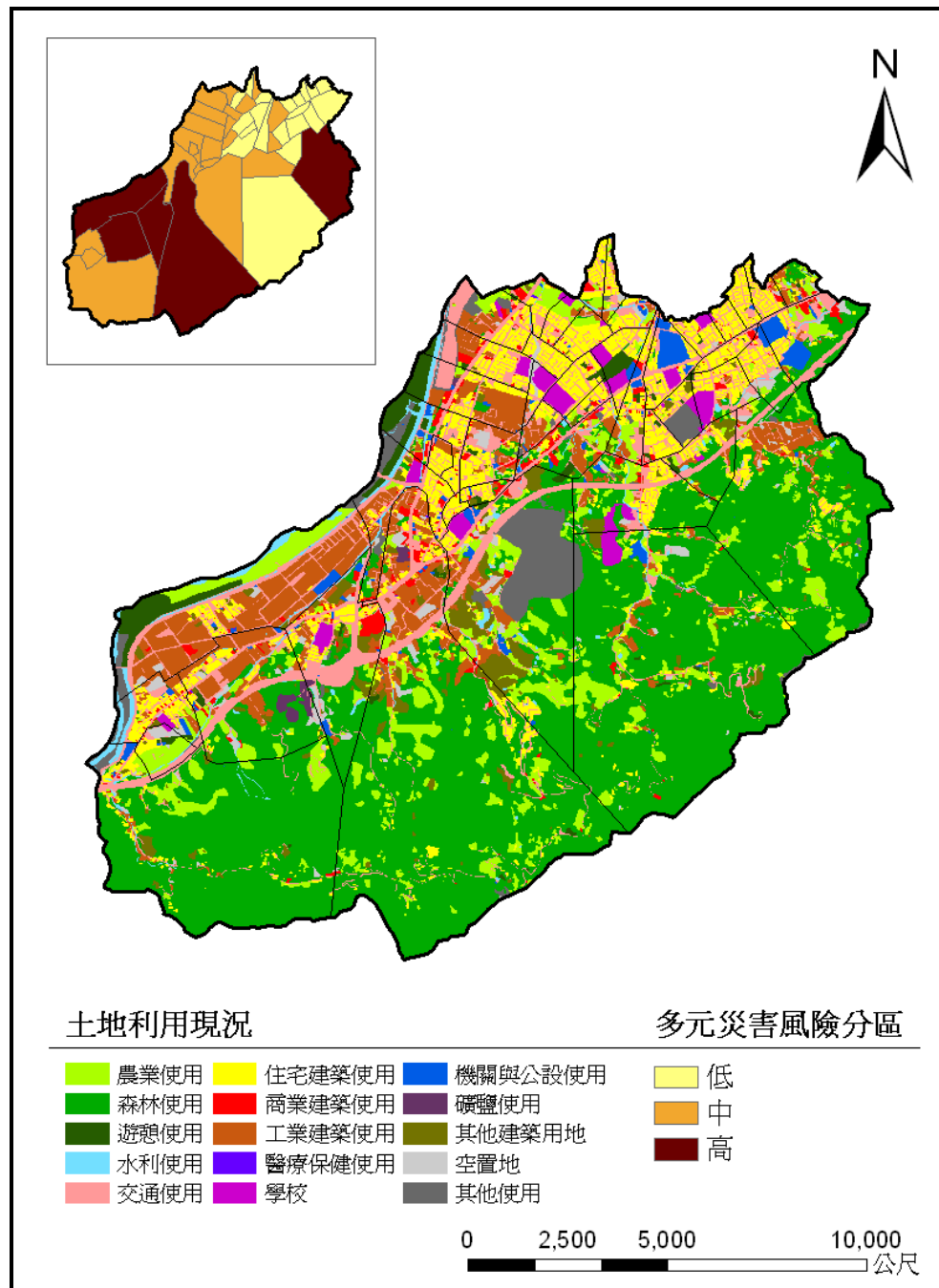


圖 2-6 土城市多重災害風險分布

資料來源：陳建忠、洪鴻智，2010，圖 7-3

伍、防災空間系統規劃

本研究主要定位在於引入多重災害衝擊情境，進行防災空間系統規劃。過去建研所，曾長年推動防災空間系統規劃，做為地方重要之城鄉災害防救調適機制。故其推動過程與建置的相關規劃程序，為本研究議題相關之重要推動經驗。

以下即簡要介紹建研所最近之 2007 年版之「都市防災空間系統手冊」內容，以瞭解其規劃程序、內容與特性。

建研所分別於 2000、2003 與 2007 年編定三個版本的防災空間系統規劃手冊，做為推動地方防災空間系統示範計畫推動的基礎。為推動此三個版本之應用，建研所亦從 2000 年起，在國各地積極推動多個示範區計畫。其中 2007 年版本之空間系統規劃手冊彙編增修工作，是從技術支援與規劃方法論建置的角度，建議天然災害防災空間系統規劃進行的可行程序、方法、內容、資料庫建置與可能需面對之課題的討論。其主要特性，可包含下列五個層面（何明錦、洪鴻智，2007）：

1. 區域性的防災空間系統規劃：防災空間系統規劃，可以單一鄉鎮市或跨鄉鎮市的角度，以區域（可能同時包含都市與非都市地區）的觀點建立防災空間系統規劃程序與內容（使用者可依計畫需求，選擇適當的規劃範圍）。
2. 強化全災型（天然災害）或多重災害潛勢與風險分析：由於災害潛勢、潛在災害損失與災害風險評估，是防災空間系統規劃的基礎，故本版本手冊較強化規劃地區多重性天然災害的潛勢、風險與災損估計的方法與內容建議。做為防災空間系統規劃擬定的基礎。
3. 強化防救災設施需求估計與分析：由於防救災設施的需求特性與需求量估計，是檢討規劃地區防救災資源與設施供給狀況的基礎。故此版本手冊，較強化防救災需求特性與需求量估計方法的介紹，以輔助防災空間系統規劃的推動。
4. 強化減災與相關配合措施：由於防災空間系統規劃，較強調供給面規劃。故在實際執行時，需要有相關的防救災管理、組織體系或非工程（non-structure）災害調適策略作為配合措施，以強化空間系統計畫的落實。尤其是減災、災害整備與緊急應變相關調適策略的建置與配合，是攸關防災空間系統計畫成敗的關鍵，亦為本版本規劃手冊建議之核心議題。

基於上述特色，此版本手冊建議之防災空間系統規劃執行程序、內容與步驟，可說明如下（何明錦、洪鴻智，2007；陳建忠、洪鴻智，2010）：

1. 第一步驟：制定防災規劃規劃目標與指導原則

本步驟須依據規劃地區之城鄉發展相關的實質與社會經濟環境、發展現況、地方特性與願景、相關法令與城鄉規劃的上位計畫，研擬規劃目標。另亦須考慮地區災害防救計畫、相關的防災作業原則、災害特性、防災需求特性等，以擬定

都市防災規劃短、中、長期之基本規劃目的與原則，作為後續步驟之規劃基礎。

2. 第二步驟：劃定規劃(計畫)範圍

本步驟建議可納入全區域之多重災害潛勢與風險特性，考慮規劃區周邊鄉鎮或縣市的特性，並參考歷史災害紀錄，佐以各類災害潛勢疊圖的初步分析結果，配合人口集中、密集或行政區劃，擇定規劃（計畫）範圍。

3. 第三步驟：防災環境資源調查、確認與分析

進行防救災設施需求分析與防救災空間系統配置前，需針對前述劃定的規劃區域，進行災害防救條件的供給面分析。主要的工作包含：災害環境分析、實質環境評估、土地使用及防救災相關設施調查與評估，及確認與瞭解規劃區現有災害防救資源與設施的特質與空間分布與使用特性。

4. 第四步驟：災害情境設定模擬與風險損失評估

本步驟的主要工作，包含規劃區的各種災害潛勢模擬與預期災害損失（或災害風險）的評估或模擬。進行此工作，首需進行災害情境設定。災害情境設定可以過去災害歷史為基礎或透過境況模擬方法，配合相關單位與專家之建議綜合研判，設定可能的災害條件與情境，以做為災害潛勢分析或災害風險評估的基本情境。災害情境設定後，除可藉之模擬地區的災害潛勢外，亦可透過不同災損或災害危險度評估模組、電腦模擬或相關方法，估計災害損失或損害。境況模擬的成果不但可產生多種不同型態的災害危險、風險圖與損失估計結果，亦可支援防救災設施需求估計。

5. 第五步驟：防救災設施需求分析

本步驟主要目的，在於估計與分析各項災害防救設施的需求。防救災設施需求估計，需考慮不同防救災設施的潛在需求者，及影響需求的相關因素（例如人口、社會經濟條件的變遷），以助於分析需求特性與估計需求量。考慮之項目包含：(1) 災害潛勢、損失與風險因素，(2) 地區的社會經濟特性，(3) 防救災設施的地方需求特性，與(4) 災害脆弱度與回復力特性。

6. 第六步驟：防救災設施與資源提供與供給現況檢討

防救災設施需求估計後，需進行設施的供給系統規劃與空間配置工作。故檢討與評估規劃區內各類災害（例如地震、洪水、坡地災害）防救據點與動線的防災力，即為此空間系統規劃的前期作業。防救災設施與資源供給現況檢討工作，可包含：(1) 依各類災害潛勢與災害暴露特性，評估防救災據點位置適宜性；(2) 評估各項防救災動線系統的阻斷風險，包含可及性、有效寬度、高度、道路現況

評估等工作；(3) 進行建物耐災力評估，包括建物或據點的結構與安全性評估；(4) 進行據點通達性、安全性評估，並估計實際可供避難之有效面積與可應用資源狀況（包含開放空間、室內空間與相關可應用資源）。

7. 第七步驟：防災空間系統配置與劃設

此步驟主要工作，為實質防救災空間系統的規劃，特別是針對六項基本空間防救災設施系統的劃設與空間配置。此工作需建立在第五步驟的設施需求分析，與第六步驟之防救災設施與資源供給現況檢討工作之基礎上。規劃內容可包含下列工作：(1) 劃設防災通道、救援運輸通道、指定消防與輔助通道系統及避難路徑；(2) 劃設防災避難圈；(3) 指定災害防救據點：包含避難生活據點、物資支援據點、消防據點、醫療據點與警察據點的指定，與(4) 瞭解可能之危險處所分布，避免將重要設施配置於危險處所。

8. 第八步驟：課題發掘與配合對策的研擬

本步驟可擬定下列之配合措施：(1) 土地使用防災規劃策略，(2) 災害管理與防減災策略，(3) 災害緊急應變、整備、重建與相關災害調適策略，以助於防災空間系統計劃的落實。

建研所提出三個版本的防災空間系統規劃手冊，代表在不同時空背景與技術條件下，衍生的空間系統規劃程序與方法論。在本研究的方法論、分析程序與內容，主要將擴展 2007 年版手冊建議的規劃程序與方法，提出後續相關課題研究之先期分析。期望透過本研究之投入，探討 2007 年版手冊應用過程可能產生的課題，及為因應全球氣候變遷與多重災害衝擊，在規劃方法論的必要擴充。此成果不但可提供手冊在實務應用的參考經驗，亦可做為後續該手冊修訂之參考。

另在國內相關研究中，較少從多重災害風險或衝擊角度，探討防災空間系統規劃。其中略具有多重災害研究與實務推動之相關計畫，如陳建忠、洪鴻智（2008）、陳建忠、洪鴻智（2010），曾於三重與土城市的防災空間系統規劃，引入地震、洪災與坡地災害於災害潛勢模擬、風險分析與脆弱度評估，以支援防災空間系統規劃過程。洪鴻智、陳羚怡（2007）、洪鴻智、王翔榆（2010）、洪鴻智、陳令韡（2012）、洪鴻智、呂銘哲（2010）與洪鴻智等人（2011），則曾提出多重災害風險評估方法，及整合脆弱度分析於多重災害風險評估。然這些研究仍失之零碎，較缺乏綜合性應用於防災空間系統與城鄉規劃。如能透過本研究的整合，建立系統性規劃方法與程序，及歸納相關議題。將有利於後續城鄉規劃、防災空間系統相關應用。

第三章 多重災害潛勢、脆弱度與風險分析

缺乏地區完整的災害風險特性資訊，將降低防救災空間系統規劃之成效，故防救災空間系統規劃與配置需以風險導向為依歸，而災害風險資訊來源則有賴地區災害潛勢、脆弱度與風險分析工作之落實。故本章目的，主在說明災害潛勢、風險與脆弱度評估方法。

第一節 災害風險分析與管理概念

壹、災害風險分析

災害風險管理的作為與因應策略所需之指標，則可藉由災害風險分析提供有效之量化參數（陳天健，洪鴻智，2009）。Burby et al. (1991)指出傳統災害風險分析，包含三個步驟：(1) 界定危害源，(2) 確認暴露於風險的受體存量，(3) 應用脆弱度分析估計可能的損失與損害。而 Smith (2001) 則認為災害風險分析與評估，需包含三個層面之工作：(1) 界定可能引發災害或損害的危險源，(2) 評估危險發生的機率，(3) 評價特定風險對社會經濟產生的影響，包含財產、生態、生命與文化的衝擊。

災害風險評估的內涵，除發生的潛勢或危險外，尚包含可能受影響的脆弱度。換言之，風險分析除需評估發生的機率或損失特性外，亦需分析暴露在其影響範圍內的建成環境與社會、經濟特性（Carreno et al., 2007）。何明錦、洪鴻智（2005）則根據災害風險與評估之內涵，將其工作程序分為四個步驟：

1. 歷史、基本與危險條件的界定與調查：包含調查規劃區內潛在危險的實質條件的界定，調查具有弱勢居民的社會經濟、政治條件與區位，及進行災害歷史條件、公共設施條件與社區組織與人力資源條件的基礎調查；
2. 暴露條件與內容的調查分析：主要工作在於界定，特定災害事件下，規劃區內暴露於災害影響範圍內的人口、建物、生態系統、設施、財產的潛在損害與損失程度。主要的調查與資料蒐集範圍包含：田野調查、問卷分析、統計資料與相關文獻回顧。分析方法則包含統計方法的應用、質化研究、多變量分析法等。此步驟之工作內容與第一步驟，即為災感度分析的主要內容；
3. 災害分析與評估：本步驟主要工作，主要依前述的風險評估內容，分從週期性與非週期性災害進行分析與評估。主要分析內容，乃透過歷史資料、災害學理論，應用災害損失評估工具、電腦模擬或統計方法（例如蒙地卡羅分析法），進行災害發生機率的估計與損失及損害的評估；

4. 估計災害風險：根據前述災感度分析的成果，可評估特定規模下的災害可能產生的衝擊與損害，再將估計之成果納入災害發生機率，即可估計災害風險。

災害風險在應用上，聯合國災難救濟協調總署（Office of The UN Disaster Relief Co-Ordinator, UNDRO）在 1979 年所舉辦的專家小組會議後的研究報告「Natural Disasters and Vulnerability Analysis」中針對災害風險提出一個操作性定義（Carreño et al., 2007）：災害風險 = 災害×暴露×脆弱度（參見式(2-2)）。此方式將如應用於風險評估，則可將風險視為下列函數：

$$\text{災害風險} = f(\text{災害}, \text{暴露}, \text{脆弱度}) \quad (3-1)$$

此定義隱含災害風險評估不再只是實質的衝擊評估，而應針對可能涉及的災害特性、暴露，與影響脆弱度的社會經濟、實質設施與都市發展特性，進行跨領域與綜合性評估。而在城鄉的災害風險實務中，災害風險分析的課題，理論上應涵蓋地方環境系統、科技、自然危險（如大氣、地質、水文）、人文、經濟等系統或領域。然傳統的災害風險分析或評估，較常從單一物質或危險源的界定，及其風險評估與管理著手，較少從空間所隱含的多重災害、多途徑、多受體與多地點的向度，綜合評估區域的環境風險特性。造成災害風險評估與分析的角度，會侷限在單一且顧此失彼的災害認定困境中，而降低其實用性（洪鴻智，2007）。此外，就災害風險管理角度而言，災害風險分析應從多元災害的課題出發，進行綜合性的災害風險評估，以其評估成果，作為政府部門、民間等決策支援資料庫或政策評估之工具。

貳、災害風險管理

在全球環境變遷的影響下，災害損害與損失不斷的升高，災害風險管理逐漸成為政府、學術界與民間團體減輕災害損失之重要工作。災害風險管理是對危險情況一種持續性、動態性的規劃管理過程，其目的在於減少其不確定性及降低災害發生之可能（陳天健、洪鴻智，2009）。而一般災害風險管理的策略，主要包含以下五種概念：風險界定、風險免除、風險降低、風險分擔及風險轉移（Burby,1991；陳建忠、洪鴻智，2005）：

災害風險管理過程，可將災害產生損害與損失的過程，視為循環性與連續性的互動系統。故災害風險管控或災害防救措施的研擬，即在瞭解危險源之風險特性及脆弱度特性後，所採取的管理或管制措施。不管採取何種措施，只要能降低災害作用產生的危險度或降低暴露地區的脆弱度，皆可達到防減災之目的。傳統係採用工程防災手段，主要目的在防堵災害作用之擴大，然建築工程對環境的影響及衝擊，甚至引發所謂的安全幻覺（false sense of security），進一步鼓勵開發，使得生命與財產更加暴露於危險之中（Godschalk et al., 1999），一旦防堵失敗，即可能造成損失與損害成本將更加巨大。另一種手段，則是從暴露過程的脆弱度降低著手，透過非工程手段進行災害防救與災害風險管理方法，如風險免除的土地使用規劃方式、風險轉移與分攤的金融和經濟手段等，均為災害風險管理的重要模式（黃書禮等，2007）。

第二節 多重災害風險分析方法

壹、多重災害風險與脆弱度評估法之發展

自然災害所引致的災難是最典型的人與環境衝突，而人類居住地區面對天災的脆弱，可歸咎於幾十年來的實質空間規劃，未因應災害和風險適度調整土地使用計畫或管制政策的失衡所導致。因此發展有用的自然災害減災方法和工具，納入空間規劃是極重要的一項任務。然傳統災害風險分析或評估，較常從單一物質或災害危險源，及其風險評估與管理著手。較少從實質空間同時面臨的天然災害威脅特性，進行評估與管理。事實上，特定空間面臨的天然災害鮮少為單一因子，常是多為數種災害交錯影響的結果。亦即，空間或區域面臨的災害衝擊很少為單一，而是同時面臨多重災害影響；或特定災害引發或觸發的相關災害，而產生的二次災害或後續災害衝擊，即所謂的「複合型災害」。故進行空間系統規劃時，應考量多重災害或複合型災害，對地區之威脅。而須從多元危險因子、多途徑、多受體、與多地點的面向出發，評估規劃區多重災害風險分布特性，以風險導向防救災規劃，處理或解決多重災害的威脅，提昇規劃內涵的實用性（何明錦、洪鴻智，2007）。

然國內相關研究中，較少從多重災害風險或衝擊角度，探討防救災空間系統規劃，特別是缺乏完整的多重災害風險分析或評估方法論的相關研究。目前雖有少數研究涉及多重災害相關研究與相關實務推動之研究，例如，陳建忠、洪鴻智（2008）、陳建忠、洪鴻智（2010），曾於三重與土城市的防災空間系統規劃，引入地震、洪災與坡地災害於災害潛勢模擬、風險分析與脆弱度評估，以支援防災空間系統規劃過程。但仍缺乏系統性討論多重災害潛勢、風險與脆弱度評估方法論，及相關應用。故本研究進一步引介國內外相關文獻，探討關於多重災害風險分析或評估的方法論，做為本研究後續整合與建議防災空間系統規劃程序之依據。

Tate et al.（2010）曾針對多重災害脆弱度評估（multihazard vulnerability assessment）提出一套方法論架構，主要內容與程序包含下列 6 個步驟：

1. 彙整影響地區的所有可能災害類型；

2. 針對前一步驟選定的每個災害類型，定義其損害門檻值；
3. 根據每個災害事件的災害特性，界定各種災害類型的影響範圍；
4. 將受災害影響範圍內的各種災害發生頻率和貨幣損失值分別加總；
5. 進行社會脆弱度評估；
6. 將所有災害發生頻率、貨幣損失和社會脆弱度加總，呈現多重災害空間分布型態。

前三個步驟，主要工作包括資料收集和輸入資料的預先處理。後三個步驟，則涉及歷史災害事件資料應用、災害衝擊量測，以及社會脆弱度評估。

另 Greiving (2006) 提出的整合性多重災害風險評估架構，可如下圖 3-1 所示，其主要內容與步驟包含如下：

1. 災害地圖 (hazard maps)：先產出個別災害類型的危害地圖，呈現災害發生的強度與災害分布區位。因個別災害特性不同，故須根據個別災害發生頻率與規模決定災害強度等級（例如，強度等級採五等位次序尺度分類）；
2. 整合災害地圖 (integrated hazard map)：將個別災害的危害地圖，透過德爾非法 (Delphi method) 專家問卷匿名反覆調查方式決定各類災害的權重，再將各別危害地圖加總成為一個整合性災害地圖；
3. 脆弱度地圖 (vulnerability map)：將災害暴露 (hazard exposure) 與災害處理能力 (coping capacity) 整合成為一個總體的脆弱度地圖。其中災害暴露，可以評估地區之人均所得、人口密度和破碎自然環境當指標。災害處理能力，則可以國家人均國民所得為指標。這四項指標權重，則透過上述德爾非法決定；
4. 整合性風險地圖 (integrated risk map)：將前述兩個步驟算出的災害指數與脆弱度指數利用矩陣加總，再根據矩陣加總之指數數值，產生一個整合性的風險指數，以繪製風險地圖。

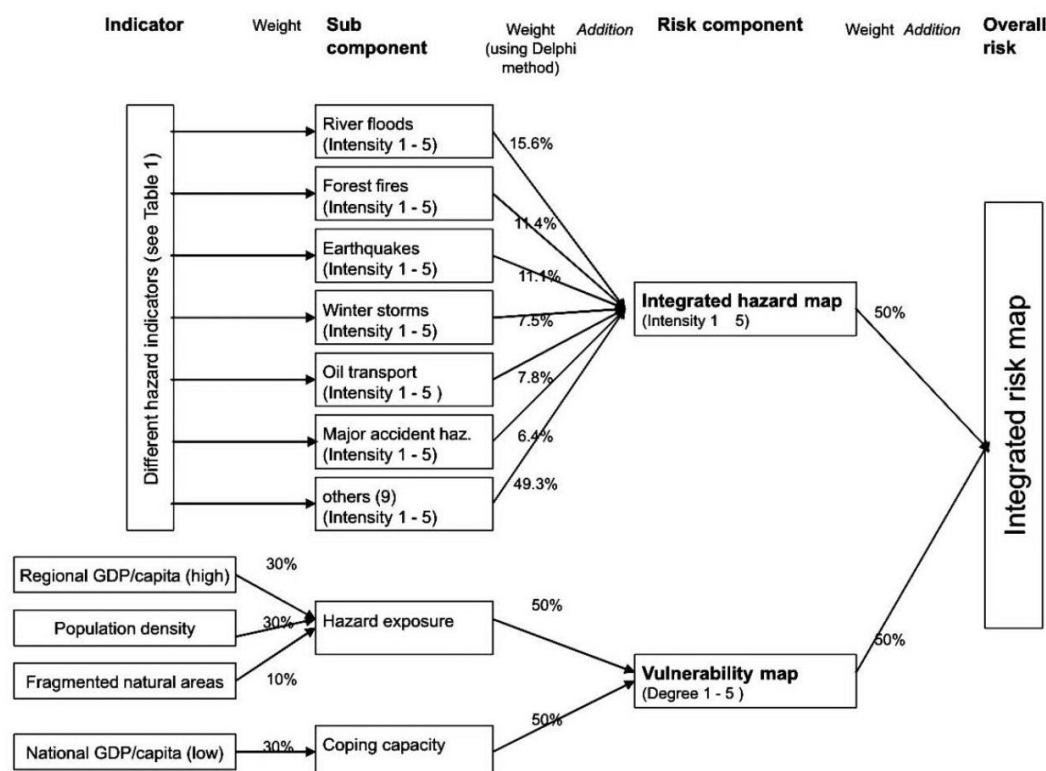


圖 3-1 整合性多重災害風險評估架構

資料來源：Greiving, 2006

Greiving (2006) 提出的整合性多重災害風險評估 (integrated risk assessment of multihazard) 方法論，乃不同於 Tate et al. (2010) 所提出的多重災害脆弱度評估。後者僅將個別災害的發生頻率、貨幣損失值與社會脆弱性直接加總。前者則考慮個別災害風險特性與社會脆弱度因子的重要性或衝擊程度，以加權方式處理。此方式更符合實際世界運作方式，亦更有利於政策應用。

另外 Marzocchi et al. (2012) 提出多重風險評估基本準則 (Basic principal of multi-risk assessment)，簡稱 MRA，則利用機率分析方式考量災害的危險源 (hazard) 所可能誘發 (trigger) 其他危險源，造成災害或風險本身之間的交互影響 (interaction) 或串聯效應 (cascades effect)，而在評估災害發生交互影響的機率上，Marzocchi et al. (2012) 係利用貝氏演化事件樹 (Bayesian evolution of event tree) 的機率密度函數來進行估計；分析流程如下圖 3-2 所示，其主要內容與步驟包含如下：

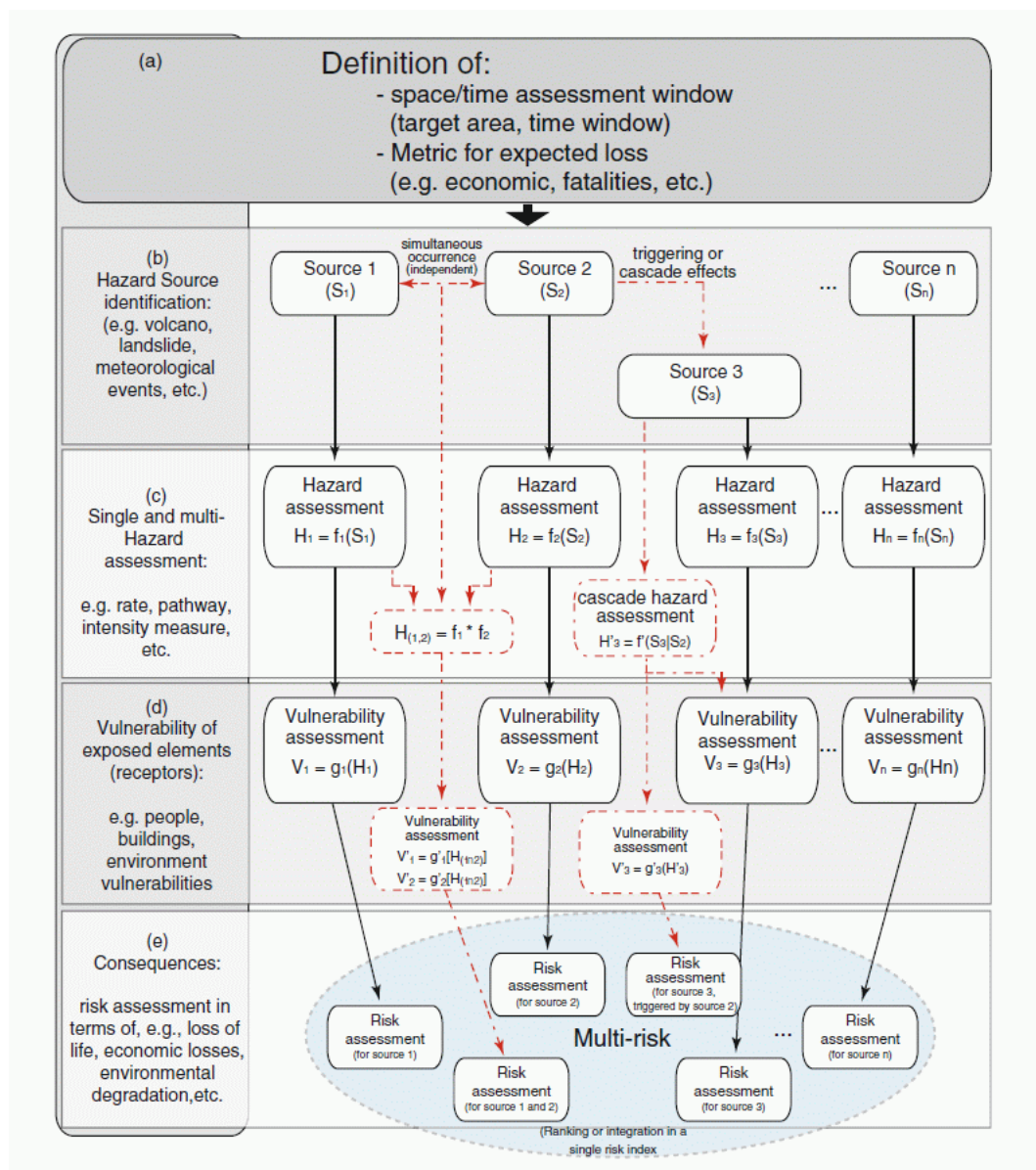


圖 3-2 MRA 多重風險評估程序圖

資料來源：Marzocchi et al., 2012

1. 界定時空與量測尺度：界定風險評估的時空場域與預期損失的量測尺度。
2. 辨識災害源：辨識風險評估地區的危險源及其可能誘發的危害事件；以及不同危害事件的級聯效應。
3. 單一與多重災害評估：確認所有選定的危害情境是否涵蓋所有種類的危害來源及其可能之強度規模與危害源之間的交互作用情形。

- 4.機率評估：針對每個單一危害源或多重危害源進行危害機率評估，以 $f(.)$ 隨機函數的形式呈現危害源、強度和傳播途徑；
- 5.暴露受體的脆弱度：每個危害情境下暴露受體的脆弱度評估，以 $g(.)$ 函數形式呈現危害之強度規模，並可以根據危害本身的交互影響作用或級聯效應適度修正強度規模，並將危險源交互作用影響下的脆弱度列入評估考量。
- 6.風險評估：考量不同危害情境下的風險，進行多重風險評估，評估項目包括：人員傷亡、經濟損失、環境條件惡化等項目。

在災害風險分析或評估上，風險地圖扮演重要角色。其可有效提供規劃者、緊急應變管理者、公部門決策者對規劃地區有完整的風險特性及其分布資訊。然而在實務上，災害地圖或風險地圖的產生並不容易。因為天然災害有其不確定性 (Olshansky, 2001; Olshansky and Wu, 2001)，尤其是多重災害風險圖的製作，更是非常困難。然而多重災害地圖，可提供地區減災計畫一個簡單的工具，協助決策者判斷高災害風險或高脆弱度地區的分布，以助於決定防救災資源分配的優先次序。故需要有適當災害風險評估工具開發或引介，提供地區災害潛勢、脆弱度與風險分布資訊，協助災害地圖與或風險地圖製作；甚至可協助防救災工作推動過程，引進合適災害風險評估工具，作為防災規劃決策支援。本研究彙整目前歐洲、美國及國內可供協助進行多重災害風險評估的相關工具，可歸納如下：

貳、歐洲 MURLUMSS DSS 系統⁶

歐洲議會在面對全球氣候與環境變遷，及大規模災害威脅頻仍之情況下，在第六次歐盟科研架構計畫的資助，推動「應用多重災害風險圖評估自然災害衝擊」 (Applied multi Risk Mapping of Natural Hazards for Impact Assessment, ARMONIA) 研究計畫。該計畫主要目標，是發展一套整合性多重災害風險地圖製作方法，以應用在歐洲高自然災害潛勢的地區或國家，以協助實質空間規劃推動與提升執行效率。在 ARMONIA 的研究計畫下，提出

⁶ 資料來源：ARMONIA—ASSESSING AND MAPPING MULTIPLE RISKS FOR SPATIAL PLANNING: APPROACHES, METHODOLOGIES AND TOOLS IN EUROPE (http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/publications/fp6/natural_hazards/armonia.pdf)

所謂的「多重災害風險土地使用管理決策支援系統」(Multi Risk Land Use Management Support System, MURLUMSS DSS)。該系統使用 ESRI ArcGIS 平台，運用 GIS 強大的運算與視覺化功能呈現分析結果，其分析方法內容與架構之流程，可如下圖 3-3 所示。而該評估工具操作程序如下：

1. 說明 MURLUMSS DSS 軟體的開發源由，並提供相關災害資訊源的連結，供使用者查詢；
2. 載入使用者所選取的圖層、人口與災害資料；
3. 選擇研究目標地區 (area of interest, AOI)；
4. GIS 軟體啟動研究目標地區相關災害潛勢圖；
5. 由使用者針對研究目標地區的人口和建物，進行脆弱程度給分 (score)，與脆弱度分析；
6. 災害潛勢與脆弱度經系統運算處理完成後，使用者可主觀針對研究目標地區的各項脆弱度指標給予權重，進行多準則分析 (multiple criteria analysis, MCE)；

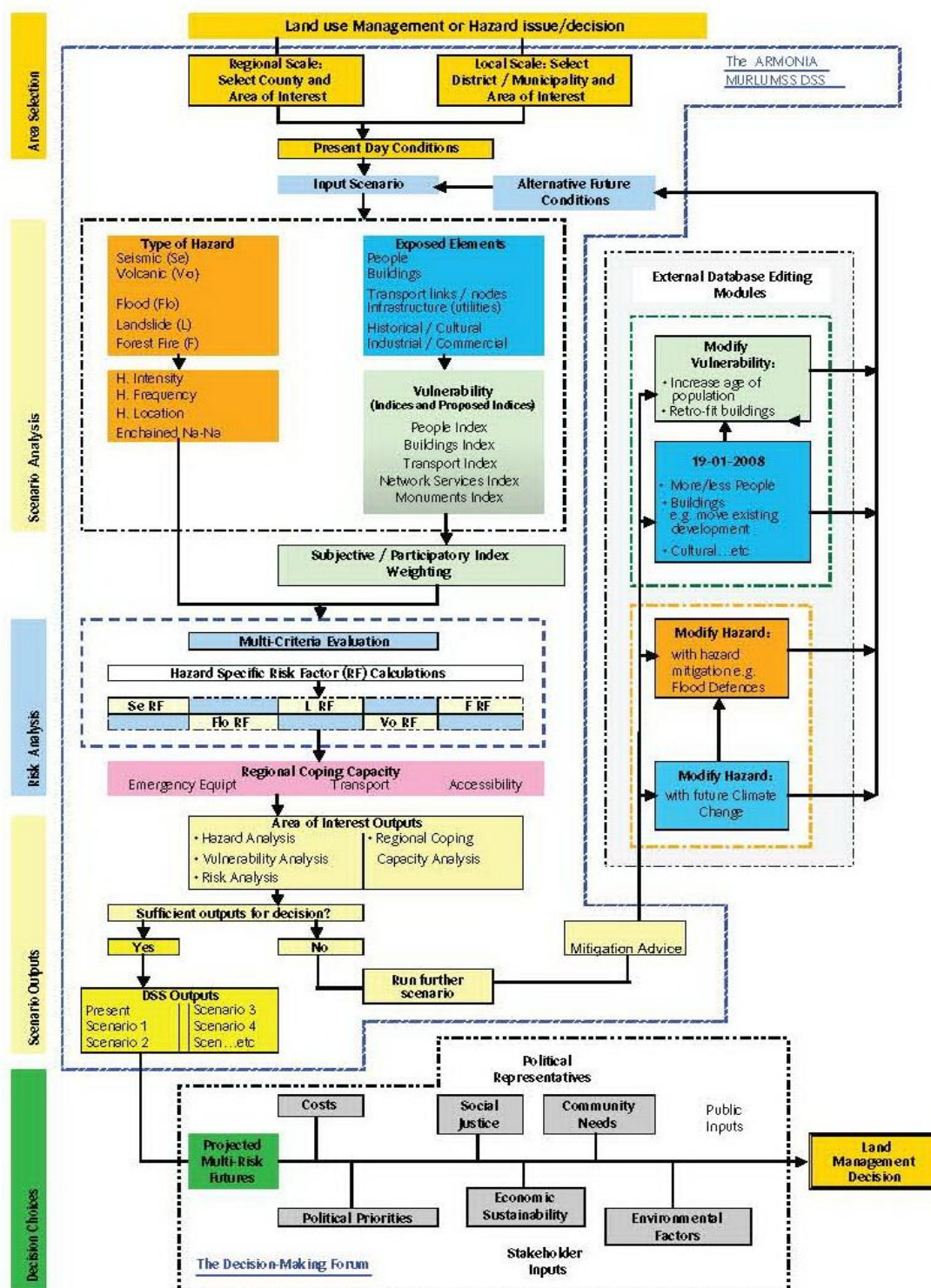


圖 3-3 MURLUMSS DSS 分析架構

資料來源：ARMONIA, 2007

7. 系統藉由運用 MCE 所採用的脆弱度加權運算，可得出研究目標地區個別災害的風險因子（risk factor）數值；
8. 經前一步驟計算完成之個別災害風險因子，可綜合地以圖表輸出方式呈現。

MURLUMSS DSS 系統.最後運算所呈現的災害風險因子數值，可供使用者輸入新的人口、建物等暴露資料或調整建物耐災條件後，重新進行第二輪境況模擬。其可提供下列兩項功能：(1) 供使用者或研究團隊，預測不同土地使用計畫和政策對研究地區的災害風險影響；(2) 有助於高災害潛勢地區發展計畫衝擊的不確定性，進行情境溝通。

參、美國 FEMA HAZUS-MH 系統⁷

HAZUS-MH 系統是由是美國聯邦緊急事務管理總署（Federal Emergency Management Agency, FEMA）委由國家建築科學研究院（National Institute of Building Sciences, NIBS）開發完成的軟體，可同時用於全美各地的一套估計地震、颶風和洪水風險評估工具，及估計災害對實質環境、社會經濟的衝擊。

HAZUS-MH 使用最先進的地理資訊系統（GIS）軟體繪製和顯示危險建築物 and 基礎設施的破壞和經濟損失估計結果，亦可估計地震、颶風、洪水等對人口的衝擊。特別是，災害損失估計在各級政府的決策制訂上是不可缺的，因此 HAZUS-MH 損失估計結果可供制定減災、整備、緊急應變和復原重建計畫之決策支援。HAZUS-MH 應用 GIS 技術，估計災害的對實質環境、經濟和社會的衝擊影響，採視覺化的方式呈現地震、颶風和洪水的高災害損失區位分布，有效呈現災害風險的分布特性；甚至可應用於災前減災規劃或空間規劃過程中扮演者至關重要的作用。規劃者、地理資訊系統專家、急難管理者，可使用 HAZUS-MH 軟體估計災害可能損失及其空間分布特性，以採取最有利的減災策略，以盡量減少災損與風險。社區或地方亦可應用 HAZUS-MH，透過境況模擬天然災害事件對財產或人員之損失與衝擊情況，藉此提高社區居民的災害風險意識。而 HAZUS-MH 模組化的設計有助於急難管理人員於災害發生後的第一時間，進行快速災損評估，以協助決定救災資源之分派模式。

⁷ 資料來源：FEMA 官網（http://www.fema.gov/hazus/hz_overview.shtml）

HAZUS-MH 系統除可用來評估災害發生後的災損外，亦可針對不同的災害狀況，及不同的策略情境進行境況模擬分析，以提供損失災害預測評估，做為防災與減災計畫規劃之決策支援。HAZUS-MH 系統的組成架構採模組化設計，每一個子模組均是獨立存在，卻有上下前後的互依關係。如以地震災害評估系統為例：地表振動會造成一般建物的損害，而一般建物的損害又會進一步造成經濟損失、人員傷亡、庇護所、土石廢棄物及有害物質的影響。HAZUS-MH 系統軟體的使用者可依據需求，選擇執行一部分或是全部的模組進行災害損失的評估。HAZUS-MH 系統可估計危害、工程結構物損害機率、社會經濟的損失與所引致的二次災害，以及因災害引發損害對區域經濟長期衝擊的間接經濟損失影響等內容。故 HAZUS-MH 系統，是一個綜合性災害損失評估工具。HAZUS-MH 系統軟體地震、洪災、颶風模組架構分別如下圖 3-4、圖 3-5、圖 3-6 所示。

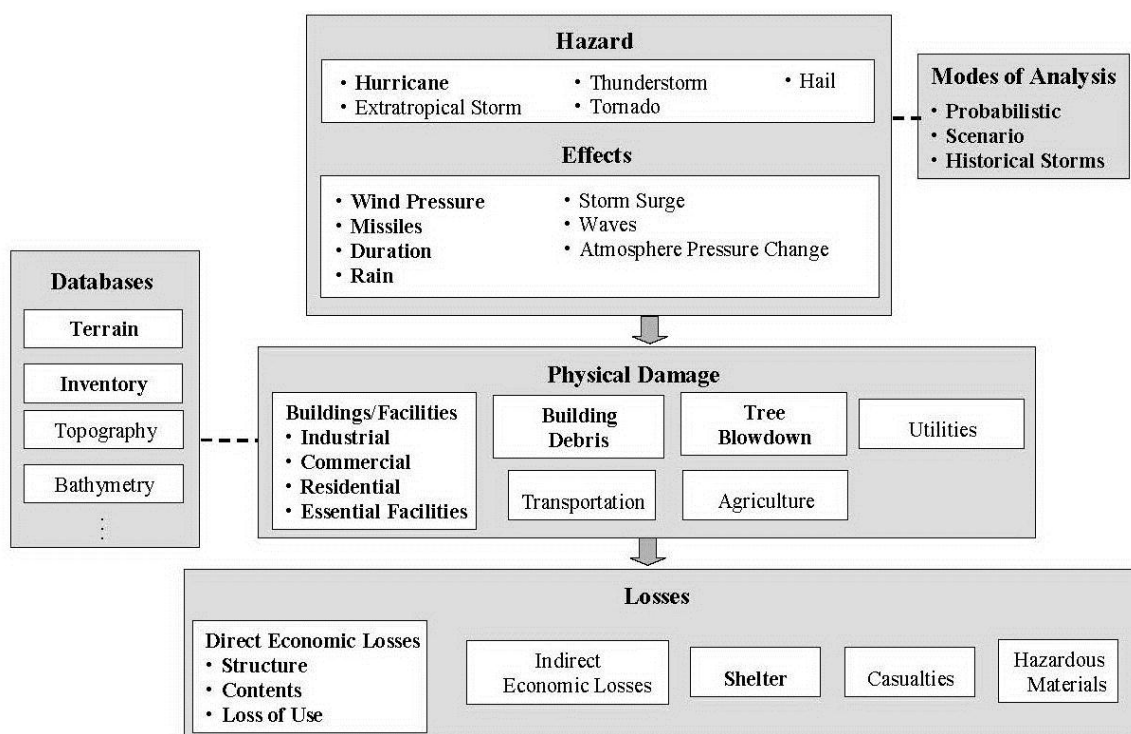


圖 3-4 HAZUS-MH 颶風模組系統架構圖

資料來源：FEMA, 2008c

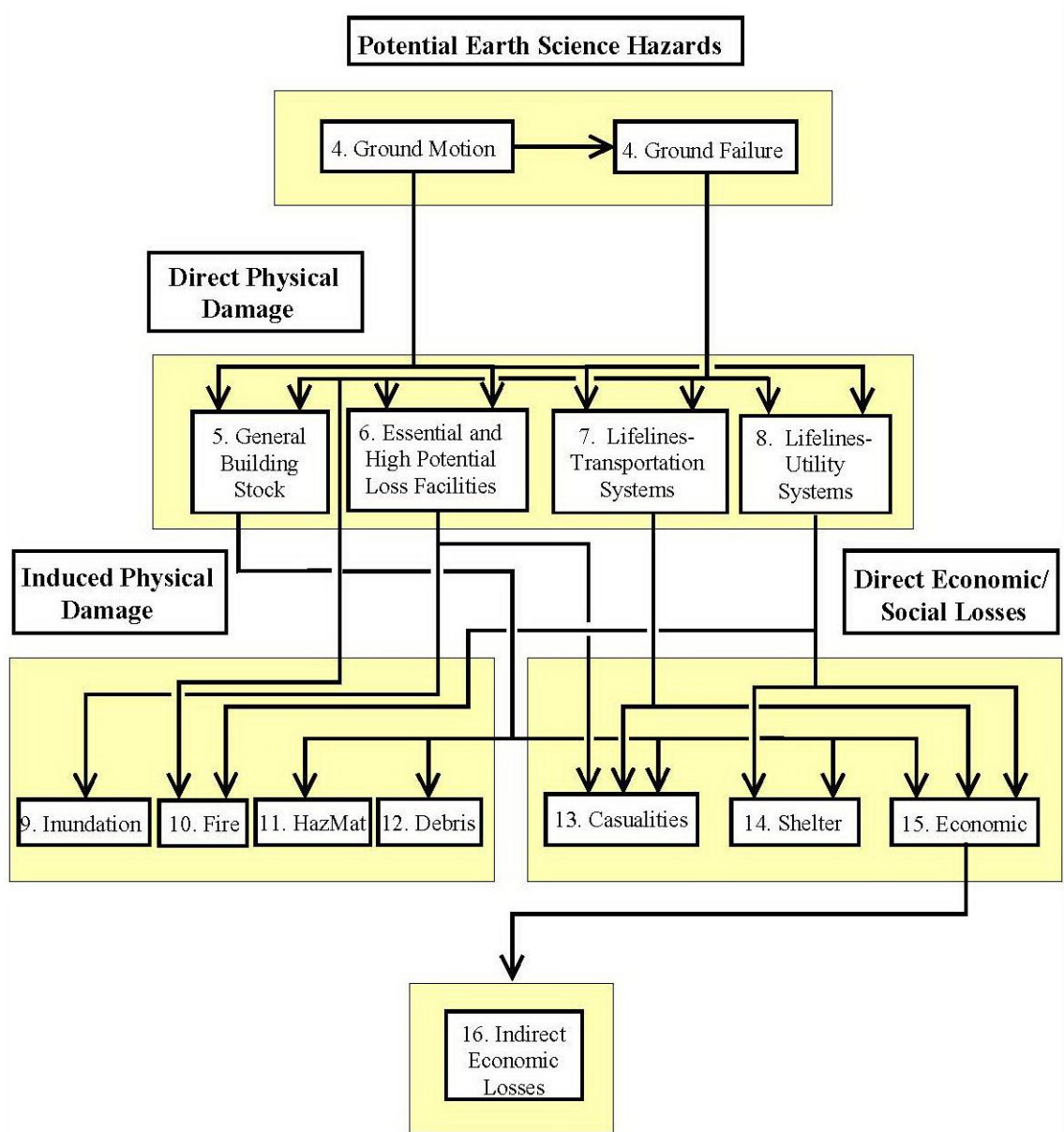


圖 3-5 HAZUS-MH 地震模組系統架構圖

資料來源：FEMA, 2008a

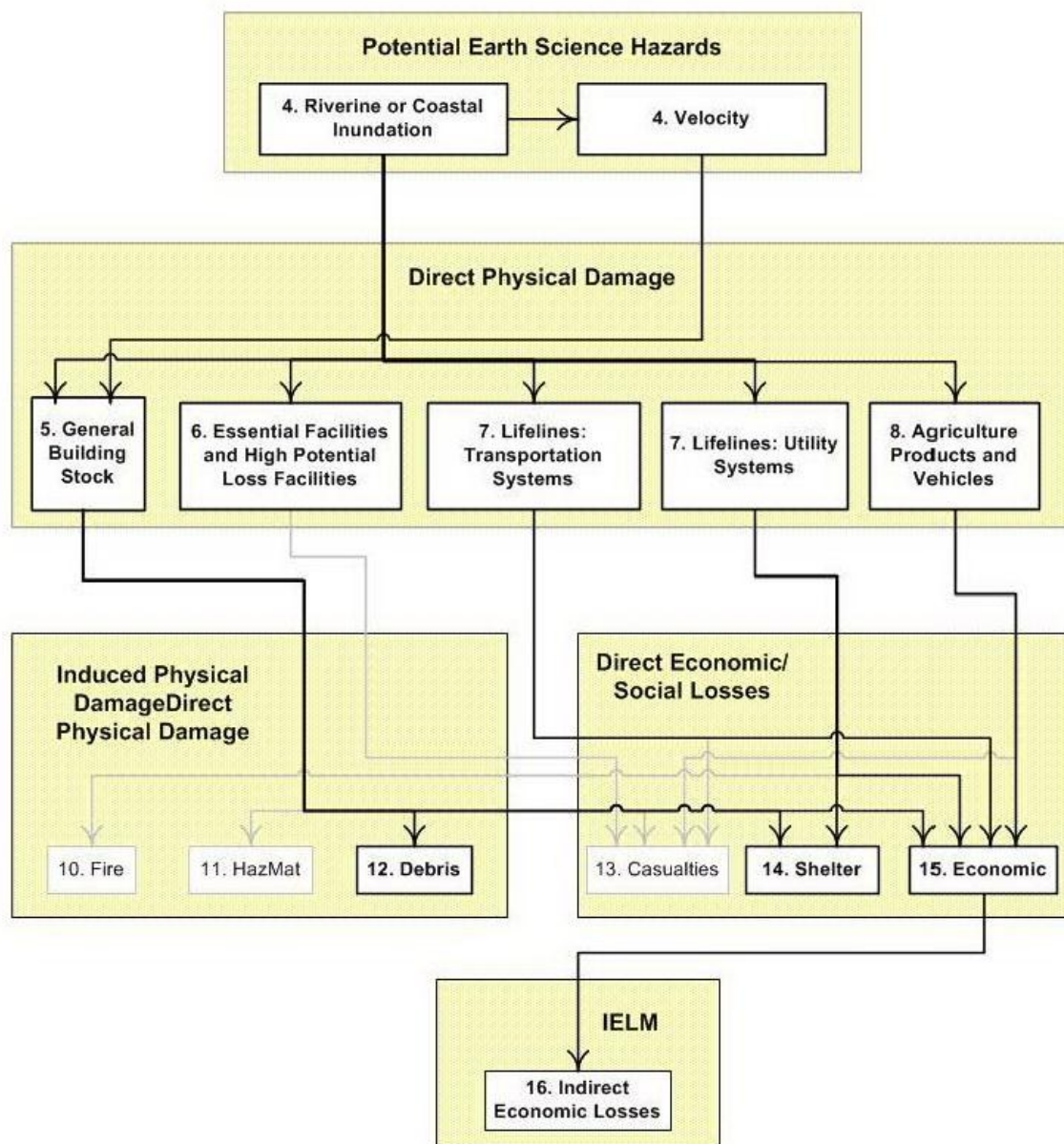


圖 3-6 HAZUS-MH 洪災模組系統架構圖

資料來源：FEMA, 2008b

肆、美國 USGS MHDP 計畫⁸

美國地質調查局 (U.S. Geological Survey, USGS) 近年來努力推動「多重災害示範計畫 (Multi-Hazards Demonstration Project, MHDP)」，期望應用科學

⁸ 資料來源：美國地質調查局多重災害示範計畫網站 (<http://urbaneearth.usgs.gov/>)。

降低災害風險 (Science Application for Risk Reduction, SAFRR)。MHDP 針對自然災害採用境況模擬方式，透過模擬成果作為提升社區回復力和增加社區面對災害時的處理及應變能力。

MHDP 最早的發展，乃於 2006 年為減少南加州地區因天然災害造成的人員傷亡與財產、經濟損失與損壞而提出。該計畫預訂針對加州可能面臨的五種天然災害（地震、冬季風暴、海嘯、森林野火、山崩土石流）分別進行災害事件進行境況模擬，並擬將模擬成果及其應用狀況推廣到全美各州。然截至目前為止，僅完成地震與冬季暴風的災害境況模擬成果。以下僅針對目前建置完成的災害模擬情境進行說明：

一、地震

MHGP 將地震災害境況模擬情境命名為「ShakeOut」，係以全美最容易發生地震南加州為研究場域，模擬聖安卓斯斷層南段 (southern section of San Andreas Fault) 發生規模 7.8 的地震事件。雖然地質證據顯示，聖安卓斯斷層南段每 150 年應該會發生大地震，但該段已經有 300 年未發生大地震，故本計畫研究團隊，決定以此斷層發生錯動破裂為模擬情境。ShakeOut 情境模擬是從地球科學的理論基礎模擬地震危害事件，轉化為對實質環境的破壞，及希望進一步其對社會經濟造成衝擊。模擬程序大致為假設斷層錯動，引起地表振動或產生二次危害的土壤液化和山崩，再引發建築物、維生管線、交通基礎設施等工程結構物的損壞或地震引發的火災，最後則是造成人員傷亡、經濟損失、緊急應變措施、災後復原重建等社會經濟層面的衝擊。其操作程序，可用圖 3-7 所示方法說明之。

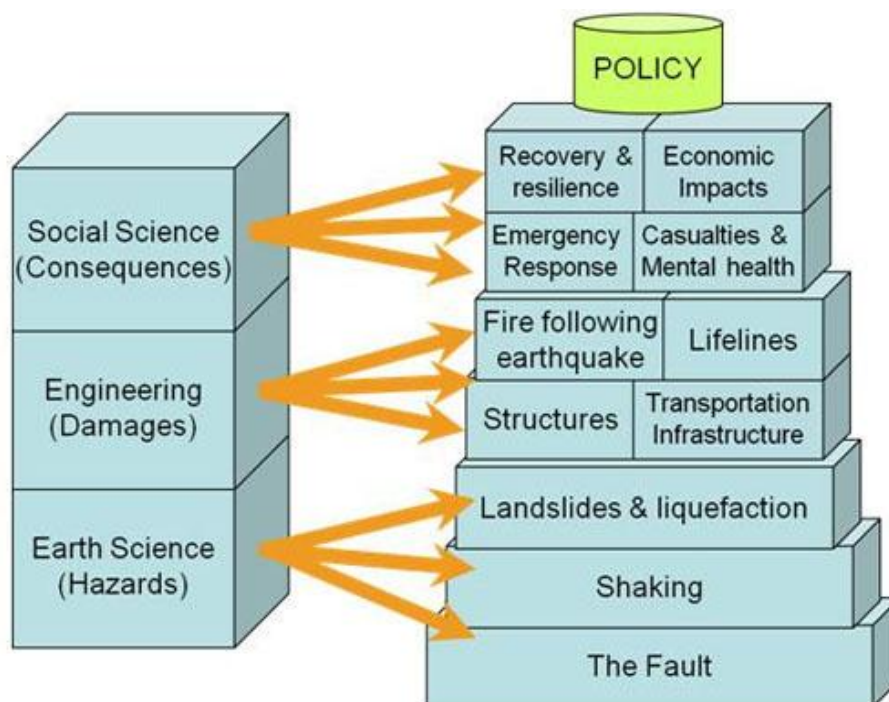


圖 3-7 ShakeOut 情境模擬的構成要素

資料來源：Western Geographic Science Center⁹

二、冬季暴風

MHDP 針對冬季暴風的情境模擬命名為「ARkStorm」，因全球氣候變遷造成美國西岸遭遇類似的巨大風暴越見頻繁。故本計畫以 1861~1862 年間侵襲加州的一連串冬季暴風，造成莫哈維沙漠（Mojave Desert）和洛杉磯盆地（Los Angeles Basin），等加州谷地約 300~350 畝的土地被淹沒，形成一個南加州湖的歷史災害事件型態為模擬範本，並運用現代化的模型方法與 1969 和 1986 年的大型風暴資料進行境況模擬。ARkStorm 係 MHDP 召集環境與自然災害研究機構的專家學者們，設計一個巨大但合理的風暴危害事件，以建立緊急管理人員、資源管理者與一般公眾面對可能面臨的風暴災害之評估。

ARkStorm 境況模擬計畫主要成果如下：(1) 巨大的冬季風暴，只是加州可能面臨的巨大天災之一種，ARkStorm 預計可能造成的 4 億美元的財產損失、3.25 億美元的商業中斷損失、150 萬人需進行撤離和某些地區高達 10~20 英尺的淹水；(2) ARkStorm 的災害影響範圍是遍及全加州和所有經濟部門；

⁹ 網址：<http://geography.wr.usgs.gov/science/mhdp/index.html>

(3) ARkStorm 會造成巨大的經濟損失，預估加州有 25%建物會遭遇洪災，但僅僅只有 12%建物有投保；(4) ARkstorm 情境模擬或是加州不可避免需面臨的天然災害事件；(5) ARkStorm 跟地震災害事件不一樣，在某種程度上是具有可預測性；(6) 加州洪災保護設計無法抵擋像 ARkStorm 一樣的洪水災害；(7) ARkStorm 情境模擬欠缺像 ShakeOut 境況模擬一樣每年落實進行防救災緊急應變演練。

伍、臺灣 TELES 系統¹⁰

國內關於地震災害損失與風險評估，國家地震工程研究中心所研發近年來致力開發的一套「震災境況模擬軟體」——台灣地震損失評估系統 (Taiwan Earthquake Loss Estimation System, 簡稱 TELES)，可有效評估地震潛在的危險程度與可能引致的災難和損失，應用在政府的防救災業務和民間企業的風險評估與管理上，適合台灣本土的地震災害風險評估與分析工具。

TELES 系統採群組化設計（分析架構如圖 3-8 所示），主要分析模組可分為「地震災害潛勢分析」、「工程結構物損害評估」、「地震引致二次災害評估」、「社會和經濟損失評估等分析模組」。然有些模組資料取得不易，目前受限於系統資料庫的建置項目有限，TELES 評估對象主要針對一般建築物的直接經濟損失，一般建築物損害引致的人員傷亡進行評估，其它損害或損失評估則待相關基本資料與評估參數建置齊全，方能納入 TELES 分析。對於建物直接經濟損失估計方式，係以貨幣值表示之，而此種以經濟損失為風險計量單位，可有效呈現出風險之空間分佈特性；對人員傷亡情形則以傷亡人數呈現災害風險在空間分布特性，有助於比較不同地區或地震境況模擬下之受災程度。

¹⁰ 資料來源：台灣地震災害損失評估系統網站 (<http://teles.ncree.org.tw/default.aspx>)

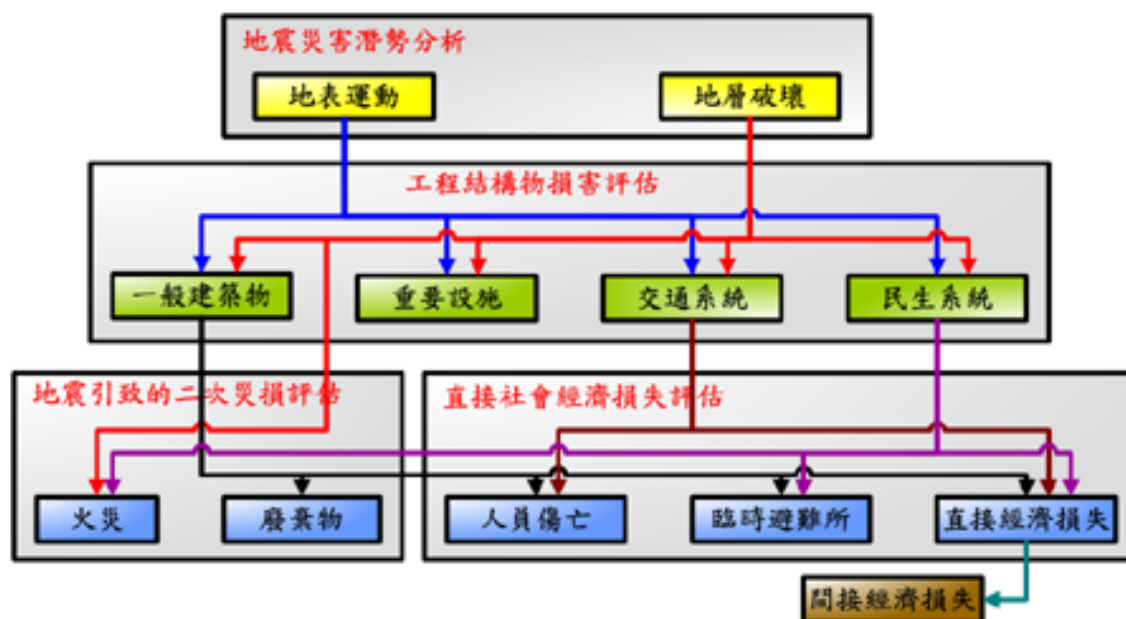


圖 3-8 TELES 系統架構圖

資料來源：台灣地震災害損失評估系統網站¹¹

綜合前述的多重災害風險分析或評估的方法論介紹與相關評估系統的開發成果，本研究歸結出目前多重災害風險分析或評估之主要分析架構、內容與程序為 Gruntfal et al., 2006; Tate et al., 2010）：

1. 界定影響地區發展之可能災害類型；
2. 界定可能造成地區災害損失或人員傷亡之災害門檻；
3. 應用不同災害模型或模組，評估不同類型災害發生強度、機率分配與造成災害損失程度；
4. 評估災害脆弱度；
5. 繪製多重災害地圖、分析多重災害空間分布特性，及相關之城鄉規劃、災害調適策略擬定應用。

¹¹ 網站：<http://teles.ncree.org.tw/default.aspx>

第三節 整合性脆弱度評估方法

壹、脆弱度

關於脆弱度的定義，一直缺乏共識。可能會隨其研究的領域，而有不同的定義。其主要的研究領域包含：社會、生態、自然環境、生物物理與社會－生態系統（social-ecological system），這些領域對於脆弱度的界定，皆會因其研究內容與應用目的之差異，而有不同的脆弱度定義（Gallopín, 2006）。

儘管要針對脆弱度下一個一般性的定義非常困難，但多數的文獻皆認為，脆弱度可視為在特定環境災害條件下，產生傷亡、環境生態與財產損失的可能性（Cutter *et al.*, 2000; 吳杰穎等，2007）。然此定義過於廣泛，亦忽略地區的暴露與災害特性。故 Adger (2006)提出一個概念模型，認為脆弱度是包含：暴露在特定擾亂源（perturbation）或外在壓力（例如災害）威脅的程度，以及對於特定擾亂源的敏感性與調適能力的綜合概念。綜合這些定義，可歸納脆弱度涵蓋兩項較具共識的特徵：(1) 存在不同強度的擾亂源，且此擾亂源對系統具有潛在的威脅性；(2) 每一個社會－生態系統皆可能暴露在多個及彼此互動的擾亂源中（Turner II *et al.*, 2003）。換言之，脆弱度指一個系統或地區在面對特定的擾亂源下，可能受到傷害的敏感度，以及在面對此威脅下進行系統改變或調整的可能性，而非對抗此擾亂源的結果（Gallopín, 2006）。針對上述的定義，以下即針對脆弱度定義涉及的相關概念說明之。

一、擾亂源與敏感度

在 Turner II *et al.* (2003) 提出的脆弱度分析模型中，認為擾亂源（例如地震、颱風等）並非完全來自外在，亦可能會源於系統內部的特性、資源與設施和外來擾亂源的互動結果。故在脆弱度分析過程，需考慮系統內部的特性，及其與外來擾亂源的互動關係。但系統內部隨時存在改變或調整的可能性，故脆弱度並非一成不變，而是動態的觀念。一般在討論脆弱度，通常將其視為負面的用語，但從系統變遷的角度而言，系統的轉變可能會帶來正面的脆弱度調整（例如強化設施的抗災性，或提升系統適應能力）。但從系統的角度界定脆弱度，其實較強調系統保有其既有結構的能力（例如一個地區維持其在受災前環境、財產與設施條件的能力），故不同威脅造成的系統改變，

在脆弱度的分析，仍較著重在結構性的改變，而非枝節末端的討論（Young *et al.*, 2006）。

敏感度的定義，亦非常紛雜。許多文獻的定義，皆將敏感度與暴露一起討論（Luers, 2005）。其中「暴露」較強調有無的問題，而「敏感度」則較強調程度之問題。然 Gallopín (2006) 認為欲具體定義敏感度，應與暴露有所區隔。而可將敏感度，視為一個系統可能受到外在或內在擾亂源影響的程度。故可表為每改變一單位的擾亂源，造成的系統改變程度，其可表為：

$$\text{敏感度} = \frac{\partial \text{系統改變}}{\partial \text{擾亂源}} \quad (3-2)$$

二、調適力與暴露

調適力在不同的文獻中常有不同的用語，包含克服力（coping capacity）或回應力（capacity of response）（Adger, 2006; Smit and Wandel, 2006）。儘管有不同的用語，一般其可定義為：一個系統在擾亂後的調整、降低潛在傷害、掌握機會與系統轉變後的處理能力（Gallopín, 2006）。

另一個要素「暴露」為構成脆弱度的重要元素。其指一個系統與特定擾亂源的關係、關係程度與持續期間（Adger, 2006）。Gallopín (2006) 認為脆弱度與暴露需有效區隔，此方式有助於兩種現象的衡量與減災政策的應用。持此看法的文獻，認為暴露只是單純指系統與擾亂源的關係，而非系統本身。換言之，一個地區可能有非常高的脆弱度，但因與擾亂源沒有互動關係，即不會有暴露的問題，亦不會發生損害。惟如將暴露視為脆弱度的構成要素，則當一個系統只要沒有暴露在特定擾亂源的威脅下，就會視為「低脆弱度或無脆弱性」，儘管其具有高度的潛在脆弱性（例如高密度發展、存在許多弱勢族群等）。故將暴露與脆弱度分開討論，乃有助於不同層面問題的釐清，及較易於針對脆弱度或暴露，分別提出處理策略，以助於防減災工作的推動。

另一個重大問題，乃脆弱度、回復力與調適力的關係，仍存在許多不同觀點。此課題造成在空間系統規劃，如何有效推動相關政策，以降低脆弱度，或提升回復力與調適力，仍存在一些範疇界定的難題。為解決此問題，Gallopín (2006) 提出一套架構，將脆弱度、回復力與調適力的關係進行整合，以利於釐清三者的關係。從圖 3-9 可以顯示出，Gallopín (2006)認為回復力（R）為

回應力 (C) 的子集合，而回應力又為脆弱度 (V) 的子集合，故回復力為脆弱度的決定因素。另外回復力亦為調適力 (A) 的子集合。但調適力與脆弱度的關係則較為複雜，必須視調適力與回應力的關係而定。亦即回應力如等於調適力，則調適力為脆弱度的子集合，否則調適力非為脆弱度的子集合。基本上，從圖 3-9 顯示的關係，較接近 IPCC 與 Pelling (2003) 對於回復力與脆弱度關係的詮釋。如果依照圖 3-9 的架構，如把調適力視為回應力，則實際上量測一個系統或地區的脆弱度，即可涵蓋回復力與調適力兩部分，此似乎是相對較單純的做法。

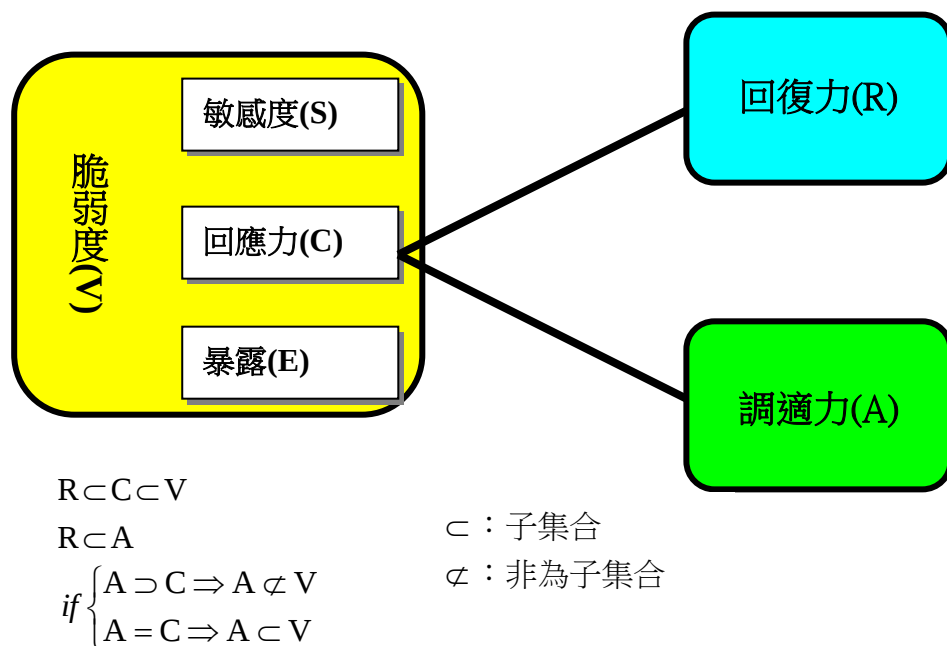


圖 3-9 脆弱度、回復力與調適力三者的關係

資料來源：Gallopín (2006), Fig. 5

貳、脆弱度組成因素

透過指標系統評估地區脆弱度較易於整合 GIS，提供決策者脆弱度地理分布資訊，及做為比較、防救災資源分配之決策支援 (Eakin and Bojórquez-Tapia 2008)。許多研究將構成脆弱度要素，分為「外在 (external)」與「內在 (internal)」兩種類型。所謂「外在」指可能對系統或地區產生衝擊的外來因素，而「內在」則指暴露在「外在」影響之系統或地區因素 (Füssel 2007)。然「外在」與「內在」只是相對概念，有些情況非常難截然二分。故 United

Nations (2004) 從減災概念，將脆弱度組成因素分為：(1) 實質，(2) 經濟，(3) 社會，與 (4) 環境因素。

有些研究為降低脆弱度分析的複雜性，將脆弱度粗略分為「生物物理」與「社會（或社會經濟）」層面，再分別進行評估 (Brooks 2003; 蕭煥章 2008)。例如，Cutter et al. (2003) 與 Brouwer et al. (2007) 強調社會經濟脆弱度的評估。但嚴格而言，脆弱度的組成因素具有複雜互動或網絡關係，欲明確區分或定義生物物理與社會脆弱度絕非易事，而需發展出整合性分析方法。故有愈來愈多文獻，主張透過整合性或綜合性方法評估脆弱度 (O'Brien et al., 2004; Eakin and Luers 2006)。

叁、脆弱度評估方法

對於脆弱度的研究取向，會隨其觀察角度與目的，而有不同的切入點。Luers (2005) 歸納相關文獻，認為脆弱度主要研究取向包含下列三個層面：(1) PAR 模式，(2) 社會空間，與(3) 系統論。壓力與釋放模式較強調系統對於外來災害侵襲的處理與侵襲後的回復能力。社會空間的研究，則較強調社會經濟、人文環境與政治特性，個別或整體對於災害暴露、調適力與回復力的影響。第三個系統論，則整合前述兩種分析取向，認為要從自然與人文系統的互動，亦即從社會—生態系統的整體角度進行系統互動或動態分析，方能涵蓋整個體系的脆弱度特性 (Blaikie et al., 1994; Bohle et al., 1994; Adger, 2006)。

上述三個研究取向並沒有衝突，三者之間在脆弱度的討論，其實都有密切的關係。Adger (2006) 提出一個系統關係架構，可助於釐清不同理論與研究方法論間的關係，圖 3-10 可顯示此關係架構。圖的上半部左邊的研究切入點，是透過「基本生活權利缺乏」的角度解釋 (entitlements-based) 脆弱度。其強調構成脆弱度的主要因素，為社會組織、經濟條件、福利、社會條件、性別等因素。此等特性會直接影響社會脆弱度，及造成社會弱勢族群的脆弱度提升與回復力的下降。此研究角度有別於傳統從自然科學出發，強調環境風險或心理因素的研究方式。

從基本生活權利研究為取向的方法論，較不強調環境系統或社會體系面臨的生態或實質風險，而較強調脆弱度與回復力的社會差異，及弱勢族群的

脆弱度課題。圖 3-10 的上半部之右邊，則顯示另一種不同的研究取向，其綜合物理、工程與社會科學，解釋不同（次）系統間的關係。在天然災害風險的研究取向中，認為災害特性，甚至個人風險知覺（risk perception），皆會對不同群體及其內部的組成因子，造成不同程度的衝擊。此研究領域較關注不同災害風險特性與其組成因子的分析，包含災害類型、災害發生的機率與影響。其中決定災害影響的主要因素，即為脆弱度與回復力。而脆弱度與回復力則取決於居民的居住地點、使用資源方式與其對抗環境災害所擁有資源的差異（Burton et al., 1993）。

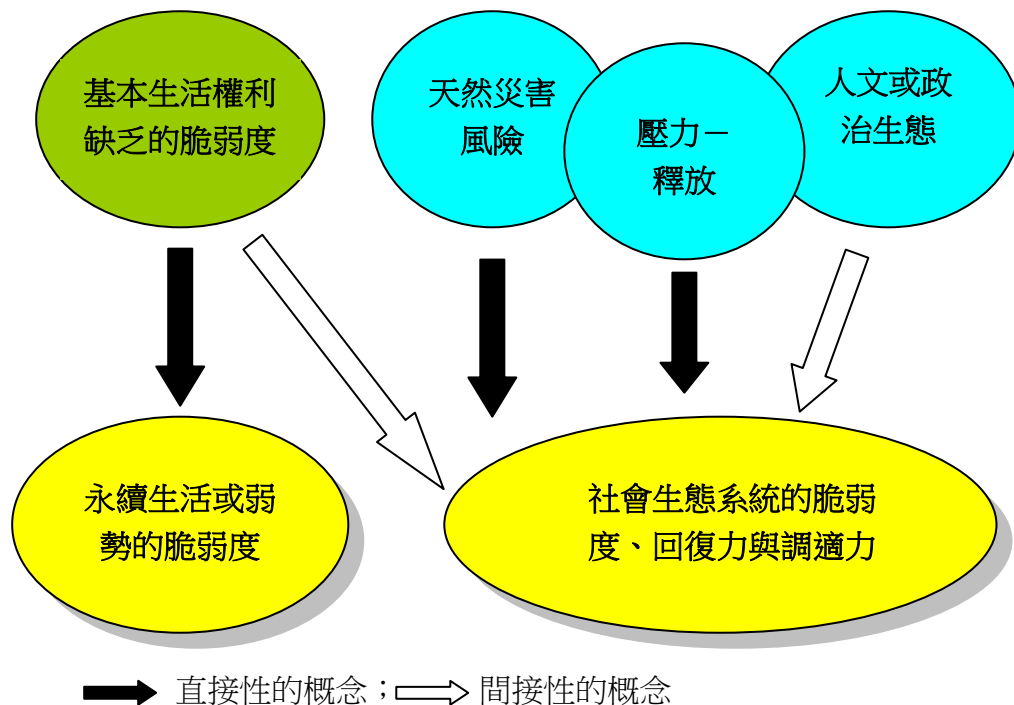


圖 3-10 對於脆弱度與回復力研究的體系

資料來源：Adger, 2006, Fig.1.

人文生態（亦有稱為政治生態）研究取向，則認為以工程導向的研究，常缺乏對政治與結構性問題的考慮，而無法解釋貧窮或弱勢群體會有較高的脆弱性與較低的回復力（Hewitt, 1997）。此研究角度雖與基本生活權利導向的研究有些類似，但此領域特別強調社會經濟發展的因素。因為社會經濟發展的差異，會影響一個社會體系面對外在風險的能力，故不同的階級結構、管理與經濟發展程度，會引發截然不同的災害衝擊影響（Patwardhan and

Sharma, 2005)。

Blaikei et al. (1994)提出的壓力－釋放模式，則提供上述之「天然災害風險」與「人文或政治生態」兩個研究領域的介面，使兩個領域的研究成果可進行整合。壓力－釋放模式可顯示脆弱度、危害形成與風險的關係。此模式提出災害風險的產生機制，主由災害源與脆弱度互動的災害作用形成。其中影響地區脆弱度演進的層面包含地區的：(1) 基本條件；(2) 危險條件；(3) 暴露過程。

基本條件指地區的政治權力運作、人口、經濟條件、基盤設施與資源的取得與分布等條件。地區的脆弱度特性，會因政治與社會經濟條件，及資源在社區的分配狀況，而影響脆弱度的特性與空間分布。當政治與社會經濟條件不佳，會使防救災資源分配之管道受限與分配不均，而加深特定地區之脆弱度，造成環境或災害風險提升（何明錦、洪鴻智，2004）。

圖 3-10 所顯示的方法論，屬於過去研究脆弱度、回復力，甚至調適力的主要研究角度。雖然其曾主導此領域的重要發現，但主要的課題在於這些領域皆有特殊的出發點，都只訴說此領域一部分的故事。實際社會或地區的脆弱度、回復力與調適力，應是這些層面的綜合效應。故新的整合性方法論，需從系統關聯的角度，建置可整合自然與社會系統的方法，而成為亟待發展的領域。

關於脆弱度評估的主要方法論，另一種歸納方式，則可包含五種類型：風險－災害、政治經濟，PAR 與 PSR 分析，整合性與分析 (Füssel 2007; 洪鴻智 2009)。產生不同方法論的主要原因，源於對脆弱度概念界定與應用目的之差異。本文較關注之處，在於如何從地理學角度呈現脆弱度特性。故透過整合性分析，結合生物物理與社會層面，將暴露、敏感度、調適與回應力整合於空間分析，為較可行之評估方法 (Turner II et al. 2003; 何明錦等人 2009)。

關於整合性的分析模式，較常用的模式是透過量化或多準則評估模型，整合不同的脆弱度或回復力指標，及分析脆弱度或回復力的主要決定因素¹²。例如早期 Liverman (1990)分析旱災與墨西哥農業發展的脆弱度關係，發

¹² 一般討論方法論，多簡單的透過質化與量化模式加以區分，然此並非良好的分類方式。

現地區特性、居民特質與社會—生態系統中的組成因子（例如土地財產權制度），是影響脆弱度的最大關鍵。

另一種整合分析脆弱度的方法，乃 Luers et al. (2003) 提出之綜合性脆弱度量化模式。其認為傳統的脆弱度量化方法，多只針對一個地區、一項指標，而其提出可考慮多指標的量化評估模型如下：

$$\text{脆弱度} = \frac{\text{暴露在災害威脅下的敏感度}(S)}{\text{可接收的門檻值}(T)} \times \text{暴露在特定災害下的機率}(P) \quad (3-3)$$

Luers et al. (2003)曾使用上述的綜合脆弱度量測法，評估墨西哥農業的脆弱度。當然亦可使用其他的社會經濟或相關指標，應用式(2)進行綜合脆弱度的評估。

由於式(3-3)只能評估一個地區的脆弱度概況或分布，但無法評估地區特定脆弱度屬性的敏感性，亦無法有效判定哪些地區的脆弱度相對較高，以利於提出適當的處理措施，造成在政策應用上受到限制。故 Luers (2005)進一步改良式(3-3)，提出一個結合敏感度與暴露的模型，其可示為下列之函數：

$$\text{脆弱度} = f \left[\frac{\text{敏感度}(S), \text{暴露}(E)}{\text{情境}(A)/\text{門檻值}(T)} \right] \quad (3-4)$$

Luers et al. (2003)曾應用此類似模型評估墨西哥 Yaqui Valley 的小麥田脆弱度。發現農田的管理、土壤、農產價格、氣溫皆會影響農田的脆弱度。

進行脆弱度或回復力的量測，需建立有效的量測指標，方能有助於瞭解一個系統或地區的脆弱度或回復力特性。此項工作的進行，特別需要進行整合性與跨領域的分析，且需同時處理物理性的指標、社會經濟屬性與主觀知覺性指標 (Adger, 2006)，這些指標系統包含質化與量化的指標。故另一個重要的課題則是，如何建置一致性的整合機制，處理這些不同性質的量化與質化的評估結果。另一方面，Næss et al., (2006)認為要建立一套適合所有地區的標準指標系統，是不可能的任務。其以挪威的執行經驗，指出要訂定脆弱

實際上，現有許多文獻的分析方法，已有效整合兩個層面的方法論。故在此處以量化或質化區分不同型態的方法論，僅是為了便於說明。

度量測指標，須詳細考慮地方特性與納入地區居民的意見，方能建立適合地方決策支援的脆弱度或回復力評估體系，否則只能提供描述性的資訊，對於決策支援的幫助不大。

肆、脆弱度評估與應用

透過量化或統計模型，處理或評估脆弱度，一直是較受關注的方法論。例如 Brouwer et al. (2007) 應用統計模型，分析孟加拉西南地區的洪水脆弱度與調適力，發現影響脆弱度的重要關鍵為居民的所得與取得資源的能力；甚至事前的整備能力與事後的社區救助能力，皆是關鍵因素。另 Pelling and Uitto (2001)，則針對面臨全球氣候變遷最大威脅的小島型開發中國家 (small island developing states; SIDS)，提出可針對這些國家，檢驗其脆弱度的綜合評估方法。另一種處理量化脆弱度分析，較常用的方法論為整合量化、統計模型與地理資訊系統 (GIS) 的綜合性方法。尤其是透過 GIS 分析，可更有效與透過圖示方式，呈現量化或統計模型分析結果的空間分布特性，以提供決策支援與政策分析，更有效的參考資訊 (Cutter et al., 2000; Yohe and Tol, 2002; O'Brien et al., 2004a; Haddad, 2005)。

綜合 Luers (2003; 2005) 提出的脆弱度或回復力評估模型，及現有量化的評估模式 (包含整合 GIS 的分析方法)，其實尚存在許多難以忽略的問題與挑戰。特別是如何考慮質化 (或定性) 的評估項目，以及在 Luers (2003; 2005) 模型中，如何決定門檻值 (T)。為處理此種類型之課題，較常見的方法，多透過焦點團體法 (focus group method) 的討論、深度訪談或專家決定的方式，將質化評估方式有效的轉化為可量化的指標系統，最後再應用量化模型進行評估 (Brooks et al., 2005; Alberini et al., 2006; Akason et al., 2006)。但不管應用何種方式，其實多是建立在量化脆弱度評估的邏輯，對於許多屬於質化的脆弱度 (例如社區如何面對災害，或如何學習與處理災害的過程)，在量化分析過程皆可能過度簡化，而造成評估的誤差與重要資訊的遺漏 (Gedikli, 2005)。故如何引入有效的方法論，處理此課題亦成為重要的挑戰。

為降低量化分析法，可能過度化約現實社會現象的缺失。在於評估方法論的設計，乃逐漸強調如何在客觀的評估方法外，能更適切的納入個人 (或群體組織) 觀點，以降低量化評估過程，可能遺漏的珍貴訊息。其中一種可結合環境生態模式與居民知識 (或主觀認知) 的量化與質化混合模式，為認

知地圖法 (cognitive mapping approach) (Ö zesmi and Ö zesmi, 2004)。認知地圖可視為一種可顯示系統如何運作的質化或定性模型。換言之，認知地圖是指在特定時空下，由一組資訊、空間關係、社會經濟因素與環境屬性構成的知識，其可顯示不同組成要素間的因果關係及互動特性 (Kitchin, 1994; Ö zesmi and Ö zesmi, 2004)。認知地圖為質化系統論的重要分析方法之一，其可更進一步整合多準則評估法 (Mendoza and Prabhu, 2003)、模糊集合理論、多屬性效用理論等量化方法 (Kosko, 1986; Hobbs et al., 2002; Ananda, and Herath, 2005)，以助於釐清環境脆弱度與回復力評估之重要組成因素，這些因素間之關係，及居民與對這些因素的認知與互動關係。而成為脆弱度與回復力評估，新興的研究方法論。

另外一種研究取向，主要是透過案例分析，以事後經驗研究，探討災害的衝擊、脆弱度與回復力。例如 Akason et al. (2006)曾以 2000 年南冰島地震為例，透過紮根理論 (grounded theory)，瞭解地震發生後居民的經驗，及影響居民從地震後回復到正常生活與損害的主要因素。另 Masozera et al. (2007)則以 2005 年美國 Katrina 颶風對於 New Orleans 的衝擊為例，結合統計方法與 GIS，分析颶風對 New Orleans 地區不同所得族群的衝擊，以瞭解案例地區的社會經濟脆弱度分布特性。

早期進行脆弱度研究，較強調從國家等級建立評估指標，以利於將不同國家或區域依脆弱度排序，瞭解在全球環境變遷下，較易受衝擊之國家分布。例如，Yohe and Tol (2002) 曾應用 IPCC (2001) 之脆弱度定義，轉化為可量測之指標體系，包含：人口、所得、Gini 係數等指標，並應用此指標系統評估各國脆弱度與災害衝擊關係。Brooks et al. (2005) 進一步擴展 Yohe and Tol (2002) 提出的評估體系，再納入：經濟、教育、基盤設施等評估指標。

跨國式脆弱度指標體系，雖有助於國家層級脆弱度比較分析，然無法深入瞭解造成脆弱度差異的原因，且難顯示不同地區之地理、實質、社會經濟特性與脆弱度之關係。故 Smit and Wandel (2006) 認為脆弱度評估指標選取應具彈性，需因評估地區、系統特性與目的之不同而有差異。特別是地方層級之脆弱度決定因素與形成機制，無法從國家尺度脆弱度指標體系獲得滿意解答。例如，O'Brien et al. (2004) 與 Næss et al. (2006) 指出，許多地區性脆弱度與地方環境及管理決策間具有極大關係。就國家整體而言，脆弱度可能

不高，但其內各地區之脆弱度可能有極大差異。特別是颱風災害，通常具地方性。故瞭解地區性脆弱度差異，仍是災害管理重要工作。國家與地方等級的脆弱度評估，主要差異在於前者較強調從「外在」描述脆弱度特性，後者則較著重從「內在」解釋脆弱度形成機制 (Malone and Rayner 2001)。例如，Posey (2009) 認為衡量一個都市或地區性規模的脆弱度，會受都市特性、財政能力與勞動力條件影響。其以美國洪水平原管理計畫之社區評等系統 (community rating system) 為例，應用洪災保險理賠與損失資料，分析社會經濟、人口屬性因素與都市層級脆弱度與調適力關係。另 Næss et al. (2006) 則以挪威經驗，從地方組織檢視影響地方政府調適力之主要因素。

第四節 災害風險評估之應用

從日本 311 強震引發海嘯和核電廠燃料棒融毀，可知災害之影響，鮮少僅有單一受體受衝擊，其災害之連鎖效應，不僅衝擊層面有波及效果，連災害源亦有同樣有可能誘發二次災害是甚至三次災害之結果。故進行防救災空間系統規劃時，應考量多重災害對地區之威脅，應從多元危險因子、多途徑、多受體、與多地點的面向出發，評估規劃區多元災害風險分布特性，以風險導向防救災規劃，處理或解決多元災害的威脅，提昇規劃內涵的實用性（何明錦、洪鴻智，2007）。

壹、國內相關研究現況

國內對於災害風險分析或評估之研究，目前主要仍集中在單一災害之研究。近年來全球氣候變遷，引起自然災害影響層面較大之災害，應在於颱風、洪水、暴潮等水文氣象災害，及因大雨所引發的土石流災害。故此處將以國內常見，且威脅較大的氣象型自然災害，例如，颱洪災害及土石流災害，以及地震災害之研究現況回顧，歸結目前國內自然災害風險研究情形。

洪災部分早期有楊昌儒等（1998）應用地理資訊系統模擬淹水情形，將淹水損失之土地利用類別按農業、漁業、鹽業與住宅損失等分類，求得各類土地使用之淹水深度與損失機率關係，並運用單位面積之資產或產值求得其淹水損失。王如意、蘇明道(2001，2002)對於台北盆地與鹽水溪示範區的颱洪災害危險度，曾進行相當完整的評估。其利用歷年雨量資料，加上地文與人文等資料，建立水文模式，計算洪水曲線，再採用二維漫地流淹水演算模式，結合地形地理資料庫，模擬不同水文情況的淹水深度與面積，最後再加上流域內淹水深度與損失之關係曲線，完成不同頻率基準與降雨條件下之淹水損失評估。詹士樑等人（2003）採用防災國家型科技計畫執行成果所建立之洪災淹水潛勢模式模擬成果，針對不同降雨條件下，因河川水位高漲或暴雨宣洩不及，所造成之淹水情況模擬 150mm、300mm、450mm 與 600mm 等四種累積之淹水潛勢圖，透過專家問卷方式取得淹水損失值資料，並配合模糊德爾菲法，估計不同土地使用種類在不同淹水高度下的預期損失。

蘇明道（2006）使用一般住家與工商業淹水深度曲線，並配合汐止七堵地區有無員山子分洪工程，重現期 2、5、10、25、50、100、200 年等兩組模擬淹水潛勢資料，估算各式間之淹水災害損失。其將估計損失值再乘上對應重現期之年率，計算區域年損失期望值，並據此建立區域淹水災害損失-超越機率曲線。蕭代基等人（2007）以家戶住宅損失為對象，應用福利經濟學效用函數與支出函數理論，以納莉颱風台北地區家戶住宅損失資料為基礎，並考量部分社經與心理因素，建立洪災損失函數，估計家戶洪災損失，再配合 Monte Carlo 模擬產生家戶損失超越機率曲線。近期洪水災害之研究，則進一步納入脆弱度分析，例如，李欣輯等人（2010）以最大可能損失、自保能力、復原與適應能力等三大面向，建立洪災社會脆弱度指標架構，並結合淹水潛勢圖資料，運運 GIS 疊圖，評估全台各縣市水災社會脆弱度風險地圖。吳杰穎、黃昱翔（2011）進一步運用模糊德爾菲法（fuzzy Delphi）篩選評估指標，建立脆弱度與回復力評估指標，並實際運用於南投縣水里鄉之案例分析。

關於土石流災害部分研究，劉格非、李欣輯（2007）利用水災損失評估常用的「淹水經驗曲線法」，建立土石流掩埋深度和損失。其根據福利經濟學的概念，估計土石流造成的直接損失，包含財產損失及人命傷亡，建立土石流災損評估模式，以貨幣值的量化方式估計土石流災害風險，並以台中縣松鶴部落為例，驗證其估計模式之可行性，而為國內土石流災害風險評估建立可行的方法論。李欣輯、劉格非（2010）將前述研究進一步推展，同樣以台中縣松鶴部落為例，進行土石流間接災害損失評估方法之建立，引用水災間接損失評估方法中於的 K 值法，完成該地區土石流間接損失金額之估算及評估方式之建立。陳志嘉等人（2010）則將脆弱度研究，納入土石流災害風險管理中，從質性研究角度出發，以半結構式訪談方式，確認南投縣水里鄉上安社區居民，面臨土石流災害時的資源利用選擇與風險管理策略。

在地震災害部分，則在內政部建築研究所近年推動的各地空間系統示範區計畫由諸多應用案例，例如，陳建忠、洪鴻智（2005）進行桃園縣龍潭石門地區都市防災空間系統示範計畫之研究便應用 TELES 系統，進行地震災害

潛勢與損失估計，並根據分析成果瞭解地區災害風險分布特性，進行地區防災空間系統規劃。葉世文、王聖銘（2005）則以 921 震災比例推估台東市都市防救災空間系統規劃需求，進行空間系統規劃配置。何明錦、黃建二（2006）同樣以 921 震災比例，進行苗栗縣頭份鎮與竹南鎮的災情推估，但未將災損成果納入空間規劃區需求分析中，而著重於實質面空間系統配置與規劃。另陳亮全等人（2003）則利用成本效益分析，結合 HAZ-Taiwan 災損評估結果，進行臺北市士林區通盤檢討前後地震災害風險變化之研究。洪鴻智等人（2008）針對新竹市土地使用變遷地震風險分析研究，其與先前地震災害研究有所不同，而首度將脆弱度概念引入地震災害風險分析中，嘗試建立整合性地震災害風險分析的方法並實際應用。何明錦等人（2009）利用 TELES 系統災損評估成果作為災害潛勢構面，並結合地震脆弱度與暴露構面之社會脆弱與實質環境脆弱等指標，進行新竹市地震風險分析與評估。

陳建忠、洪鴻智（2008）與陳建忠、洪鴻智（2010）進行三重市與土城市之防災空間系統示範區計畫，則有別於以往國內相關通常侷限於單一災害風險分析與評估之研究限制，進一步採用風險指數概念，利用 GIS 疊圖方式，將地震與水災災害潛勢圖資整合脆弱度分析結果，評估兩個城市之多重災害潛勢、災害損失與風險空間分布。分析內容可呈現多重災害風險，在規劃地區的空間分布特性與結果。

總結上述目前國內自然災害風險分析或評估之相關研究，可發現研究的災害類型多以單一災害類型為主，且研究地區多集中於都市或都會地區。早期研究亦著重在災害對實質環境的衝擊，忽略社會、經濟、政治、文化及制度性等因素，及災害脆弱度對災害衝擊的影響，因而降低災害風險分析成果的實用性。故風險評估的內涵，除發生的潛勢或危險外，尚包含可能受影響的脆弱度，換言之，風險分析除需評估發生的機率或損失特性外，亦需分析暴露在其影響範圍內的建成環境與社會、經濟特性（Carreno et al., 2007）。故災害風險分析應結合社會、經濟及生態系統面向的脆弱度分析與實質設施、人員等暴露特性，改進目前國內自然災害風險分析相關研究的缺失，以提升災害風險分析的實用性。

貳、國外相關研究現況

歐盟第六次科研架構計畫資助的 ARMONIA 研究計畫，利用 MURLUMSS DSS 系統針對義大利托斯卡尼地區（Tuscany region）的亞諾河盆地（Arno River Basin）進行該系統應用研究。該系統針對亞諾河盆地常見的天然災害類型，包括：水災、山崩（土石流）、地震和森林火災，使用 MURLUMSS DSS 系統輸出除地震以外的三種災害的災害潛勢地圖。該計畫進一步利用 MURLUMSS DSS 系統，進行脆弱度分析，以盆地範圍內的建物為脆弱度指數之依據，再根據距離亞諾河距離、路（公路和鐵路）網密度、人口密度作為調適力指標，透過標準化方式處理，最後輸出亞諾河盆地脆弱度地圖，以及亞諾河盆地多重災害地圖。該計畫亦將氣候變遷因素納入考量，而另引用 CLIMBER-2 複雜氣候模型（complexity climate model）。該研究假定在 SRES 四種排放情境（Special Reports Emissions Scenarios）下，托斯卡尼地區未來可能氣候狀況。研究結果指出，該地區將面臨海平面上升的問題，沿海地區的建物必須安遷至他處，夏天將更乾且熱，不論冬天或夏天的溫度收視呈現上升的趨勢。另在空間規劃上的議題上，建物法規必須修訂以因應極端炎熱的夏天，且水源取得問題亦需同時考量。

Rose et al.（2010）利用 USGS 的 MHDP 所釋出的 ShakeOut 模擬情境，針對南加州地區 8 個郡（Imperial, Kern, Los Angeles, Orange, Riverside, San Bernardino, San Diego, and Ventura）進行 ShakeOut 災害事件發生的情境下對該區域的經濟衝擊研究。研究結果發現在 ShakeOut 情境下，對該區域整體經濟損失估計約達 2,130 億美元，其中有 1,130 億美元的損失是資產損失（property damage），另外因營業中斷（business interruption, BI）造成的損失高達 1,000 億美元，可發現地震所造成的間接經濟衝擊並不亞於地震本身直接破壞所造成的損失。研究中並發現，因震後火災造成的資產損失約有 650 億美元，佔整體資產損失 57.7%（1,127 億美元），遠大於地震振動造成地表或工程結構物損壞所造成的資產損失。研究中值得關注的一點是，BI 有超過一半是因為自來水供應中斷所造成約有 530 億美元，而且 BI 損失佔該地區年產值 6.2%，亦即代表 6.2% 的經濟衰退率。

美國勞工統計局（U.S. Bureau of Labor Statistics）(2011)釋出的區域報告利用 MHDP 的 ShakeOut 情境模擬進行地震災害對勞動就業市場衝擊之研

究，該研究係利用 ShakeOut 工具，將南加州地區地表振動強度的 GIS 圖層與屬性資料與 QCEW (Quarterly Census of Employment and Wages) 資料庫進行套疊，設定以 MMI (Modified Mercalli Intensity) 震度 7 級以上之地區為受影響地區共計有 7 個郡 (Imperial, Kern, Los Angeles, Orange, Riverside, San Bernardino, and Ventura)，涵蓋 43.4 萬個雇主、450 萬個工作及每年 2 億 6 千 5 百萬美金的薪資。研究結果，呈現出地震對醫療照顧業 (health care) 勞動就業機會衝擊最大 (52.2 萬)，其次是零售業 (retail trade) 約 50.4 萬個工作受影響，接下來是製造業 (manufacturing) 約 48 萬的工作受衝擊。研究結果亦發現，72% 從事醫療工作者位於震區，加上近來研究亦指出加州許多醫療院所的建築結構相當脆弱，因此對於震後醫療服務需求功能將面臨嚴峻考驗，對救災工作的影響極大。

Dettinger et al. (2012) 則應用 MHDP 所設定的 ARkStorm 情境，探討加州在極端冬季風暴潮侵襲下的緊急應變措施與規劃。研究結果發現 ARkStorm 帶來的大量降水的災害影響是遍及全加州，會造成鄰近地區，如洛杉磯、聖地亞哥、舊金山灣地區等其他沿海的地區受洪水侵襲。ARkStorm 針對可能造成的經濟損失進行估計，其發現模擬情境帶來之重大自然災害，出現的勞動力價格和維修費用可能使財產損失增加 20%，農業損失、修復排水、生命路線、房屋倒塌等費用使直接財產損失總計可能達到 4000 億美元。ARkStorm 的情境設定，雖然比加州地區 20 世紀發生過最劇烈的冬季風暴災害更大。然因全球氣候變遷之影響，及加州冬季風暴發生的歷史紀錄中顯示，未來類似之巨大冬季風暴是很有可能發生。而冬季風暴可能帶來的災害相較地震之不確定性，可以透過預測，提早進行整備與災害應變演練。另在空間規劃上，面臨 ARkStorm 假設的風暴威脅下，緊急應變工作與許多其他天然災害發生所需準備之工作內容。例如，設置緊急用水、糧食、準備庇護所或建立緊急通訊系統等相關工作，皆可針對災害衝擊情境擬妥替代方案。

Tate et al. (2010) 提出可利用多重災害繪圖，進行多重災害潛勢、風險與脆弱度評估。其以美國南卡羅來納州查爾斯頓郡 (Charleston county) 為研究場域，其乃應用 GIS 軟體分析，整合歷史災害事件資料，評估查爾斯頓郡之多重災害特性。其研究完成多重災害發生頻率之災害潛勢地圖、多重災害損失評估之歷史災損地圖，及多重災害脆弱度評估的社會脆弱度地圖，最後再

進一步利用極大極小化（minimax）來轉換資料，整合成為查爾斯頓郡多重災害地方脆弱地圖。從圖中可協助決策者研判評估地區高災害潛勢與高災害頻率地區之地理分布，呈現高災害潛勢、災害損失、脆弱性與災害衝擊的空間分布特性。其結果可協助決策者於空間規劃與災害調適策略之決策支援，並瞭解災害損失與災害風險的主要分布區，作為減災計畫或防救災資源分派優先次序決策之依據。

由上述國外相關研究文獻可知，目前多重災害評估方法在國際間，仍屬起步階段，相關研究方法論提出與評估工具之開發與應用，仍是目前災害風險分析與評估之重要研究領域。

第四章 防救災設施需求分析

本章主要目的在於說明與彙整，目前關於防災空間系統相關防救災設施需求估計之內涵與方法，以供後續進行防災空間規劃分析與實務操作之參考。以下說明內容分兩部分，第一部分為人口需求特性說明；第二部分為防救災設施需求估計方法與內容引介。

第一節 地區人口需求特性分析

人口規模與密度，為推估防救災設施需求規模與人員傷亡之基礎。而進行防救災設施與傷亡估計所需的基本分析，包含：(1)人口分布與密度估計；(2)人口分布與土地使用類別之對應關係；(3)各種災損狀況之機率。其中人口分布為估計天然災害造成之人員傷亡與防救災設施資源需求之基礎，然人口分布實際上為一動態過程，欲估計其分布並非易事。以下可將人口密度與空間分布研究概況說明如下：

壹、人口特性

人口總數與人口結構為二個重要的災害脆弱度指標，人口總數通常代表脆弱度概念中，災害暴露量(exposure)與敏感度(sensitivity)的次概念(Cutter, 2003; Adger et al., 2004; 殷杰等, 2009)，亦即當空間尺度夠精細、人口總數愈多，代表災害暴露量越大。人口結構至主要指向敏感度(sensitivity)的次概念，與人口結構相關的災害敏感度多指老幼比率，尤其是高齡者的比例(李香潔等, 2011)。

貳、人口預測

目前國內於夜間人口分布估計，除可依戶籍資料粗略推估外，另根據內政部營建署「都市發展總量管制之研究」中總量人口引力模式之校估結果，配合行政院經濟建設委員會，亦可應用世代生存法進行台灣地區人口總量推估，進行總量人口數分派。惟經建會的估計成果乃針對全台，在分派到各縣市與各鄉鎮市時，可能產生誤差(詹士樑、洪鴻智, 2007)；在日間人口分布之估計，相關研究較少。其中馮正民、林偵家(2001)為補足日間人口估計模式的不足，乃以百貨公司、車站、郵局、餐飲、KTV、醫院及銀行八個行業為例，討論日間人口之估計方式，研究成果對於估計日間人口傷亡推估參數之修正與本土化有重要意義。陳建忠、林峰田(2001)則更進一步延伸上述估計模式，以台北市士林區為例，估計災害發生瞬間的地區滯留人口，即估計地區避難人口與庇護所的需求。

而中國日夜間人口比，以工作地從事第二、三級產業人口/居住地從事第二、三級產業人口¹³；日本日間人口為¹⁴：

日間人口 = 該區長期居住人口－從該區到該區以外的通勤通學者＋跨區來的通勤通學者 (4-1)

日夜間人口比率= (該區日間人口/該區長期居住人口)×100% (4-2)

可延伸研究之人口調查法，以確實掌握每人一天的交通行為，項目如下：(1)停留人口依土地使用分區劃分(住、商、工等)；(2)移動中人口依交通手段、時刻與地區區別。可模擬不同地域或不同分區別的滯留人口與總移動人口量，及不同地域別各時段使用任何交通手段(如鐵路)之移動人口量，透過上述數據的掌握，可有效研擬災時交通計畫，並檢討防災對策¹⁵。

另外，亦可依日本 NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) DoCoMo 可視化的移動空間人口統計，藉由可攜式電話網路的基地台回報，災前可進行人口變動調查與制定防災計畫之返家困難數估計；災時可即時掌握各地區人口分佈、人口結構(年齡組成、性別)、移動人口等推估¹⁶。

國內關於人口密度估計方法，相關研究非常多，但應用在防救災上仍極少。例如，林峰田、林士弘（2003），曾運用宮格自動機理論，結合地理資訊系統及統計迴歸技術，提出「都市發展模擬宮格自動機」(RUDSSCA)方法，以台北縣市與基隆市為研究範圍，探討不同空間發展政策下，對於都市人口之可能轉移量及未來人口空間結構的可能影響。此外，該模型中亦加入防災考量，以淹水潛勢資料、土石流資料與地震斷層帶資料則為則部因子，用以限制人口之成長，使模型中可以考量不同之情境規則。透過不同情境之設定與模擬，可對未來人口區位與數量進行政策性評

¹³ 從統計意義上說，居住地和工作地之人口統計不同。依人口普查登記規定，以居住所在地為空間範圍，故為居住地人口資料。而基本單位普查，則是針對法人之調查，可視為法人所在地，即工作場所，故可視為工作地之就業人口資料。結合人口普查與基本單位普查資料，可全面了解城市的人口活動和分佈情況。通常地區晝夜人口比大於1，可視該地主要作為工作地使用，稱為功能區、其中，晝夜人口比值最大的地方，可視為該地中心地；晝夜人口比小於1，視為居住地使用，稱為居住區、晝夜人口比等於1，則視該地為混合區（國家統計局普查中心，http://www.stats.gov.cn/tjfx/ztfx/decjbdwpc/t20030909_107245.htm）。

¹⁴ 日夜人口超過100的時候，需註明流入的超過量；若低於100時，需註明出流出的超過量(總務省統計局，<http://www.stat.go.jp/info/guide/asu/2008/pdf/1213.pdf>)。

¹⁵ 分析テーマ防災・災害：1) 被害想定分析・予測，http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/case/pdf/data_14.pdf。

¹⁶ NTT DoCoMo 移動空間統計信息，http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/。

估與設定。

網格層級之人口迴歸預測，如式(4-3)。林峰田、林士弘（2003）以 80 年至 90 年之資料，以迴歸模型估計出 80 年鄰近人口密度平均值($\overline{P}_{80}$)、鄰近網格距高速公路平均值($\overline{Hw}$)、鄰近網格距縣道平均值($\overline{Rd}$)、鄰近網格農業用地面積平均值($\overline{Agr}$)、鄰近網格工業用地面積平均值($\overline{Ind}$)、鄰近網格住宅區用地面積平均值($\overline{Hou}$)與鄰近網格商業用地面積平均值($\overline{Bis}$)等變項之參數值。再利用此迴歸之係數值 m_j ($j = 1, 2, \dots, 7$)，以 80 年為基年，推算未來年之人口密度值。其迴歸模型可歸納如下：

$$P_{80+n} = m_1 \overline{P}_{80} + m_2 \overline{Hw} + m_3 \overline{Rd} + m_4 \overline{Agr} + m_5 \overline{Ind} + m_6 \overline{Hou} + m_7 \overline{Bis} + \varepsilon \quad (4-3)$$

另中谷友樹（2006）亦運用美國 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)之 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) / OLS (Operational Linescan System)衛星偵測夜間地面光，可於任何特定時間與空間，進行多尺度監測市區活動強度，以光量評估人口與經濟指標，分析經濟發展、都市化與經濟危機。其中 SLI (Stable Light Image)技術，可掌握該地區都市化程度及其進程分析（特別適用於發展中國家）。

第二節 防救災設施的需求特性與需求估計方法

壹、地震

日本根據過去地震災損調查，透過各損害項目分析，瞭解受損原因及其因果關係，及訂定災損推估方式。為詳細分析地域特性，依建物損害情況劃分 250m×250m 網格(東京都計畫劃分約 28,000 網格)，依照各項目把地區資料，應用災害損害推估公式，計算每一網格損害量。另外，人員傷亡以市町村為計算單位。

地區狀況可依照每個網格調查分類後，在各網格中，透過假設地震搖動，計算伴隨因地盤搖動產生之液態化。緊接將其分成因搖動所生損害及因液態化所生損害，推算建物損害、火災、生命線損害、交通損害等。再者，從建物損害、火災損害、交通損害等依區市町村別推算死傷者數；從建物損害及上水道損害推算避難者數。地震被害想定定量指標，包含自然現象、物理、人員、生命線、交通、生活、其他等損害(估計項目可參考表 4-1)。關於地震傷亡與損害之估計方法，可依國內與日本彙整說明如下：

表 4-1 被害想定項目

項目		定量指標	後續研究方向
自然現象	地動	震度、最大地表加速度、地表最大速度	● 建物構造的影響評估。
	液化	PL 值(液化危險度)	
	海嘯	波高、到達時間、浸水地域	
	土砂災害	急傾斜地崩塌、地滑、坡地災害等各個危險地區的危險度等級	
物的損害	建物受損	搖晃	● 基於昭和 56 年新耐震基準實行之後所建造的木造住宅等的老舊劣質化等進行評估方法的檢討。 ● 掌握民間業者個別開發地區，造成受災的全體對象評估。
		液化	
		土砂災害	
		海嘯	
		火災*	
		失火件數、滅火件數、燒毀棟數	● 強風下的廣域火災延燒(受災最大值的評估) ● 高樓層失火危險性的評估

項目			定量指標	後續研究方向
				● 以火災延燒的時間經過所做之評估
人員 傷害	建物倒塌*		死亡、重傷、受傷	● 因長周期地震造成高樓層的人為損害評估
	土砂災害*		死亡、重傷、受傷者數	
	火災*		死亡、重傷、受傷者數	
	海嘯*		死者數	
	屋內物品移動、翻倒*		死亡、重傷、受傷者數(在全部被害者中，因建物倒塌所造成的受害者數)	
	磚塊、水泥磚牆等倒塌*		死亡、重傷、受傷者數	
	自動販賣機翻倒*		死亡、重傷、受傷者數	
	屋外落下物*		死亡、重傷、受傷者數	
	災時需援護者*		死者(災時需被救援者中之死者總數)	
	自行脫困困難者*		自行脫困困難者數	
生命 線損 害	上水道		上水道及工業用水道的斷水率、斷水人口、復原日數	● 假設芮氏8級巨大地震，各項設施評估(發電所、淨水廠、地下水處理廠、電話交換局等)。 ● 評估人口密集區復甦時間。 ● 填充物質等崩壞造成的設備災害之影響評估。 ● 立川地震帶中發生地表變位之影響評估。
	下水道		下水道機能故障的人口、復原日數	
	電力*		停電件數、復原日數	
	通信*		固定電話與手機不通回線數、復原日數	
	瓦斯		都市瓦斯供給停止件數、復原日數	
交通 設施	緊急輸送道路		損害數目	● 評估芮氏8級巨大地震基礎設施之損害。 ● 阪神・淡路大地震後，評估具交通基礎設施耐震設計之效能。 ● 立川地震帶中發生地表變位之影響評估。
	道路		橋梁、高架橋損害數目	
	鐵路		新幹線與新幹線以外，所有鐵路線道受害數	
	港灣		碼頭設施損害程度	
	機場		被害定性評估	
生活	避難者*		避難者數(避難所、疏散)	-
	返家困難者*		返家困難者數	-
	物資需要量*		糧食、生活用水不足量	-
	臨時廁所需要		臨時廁所不足量	-

項目		定量指標	後續研究方向
	量*		
	醫療機能*	需轉院患者數、醫療需要過於不足數目	-
其他設施等	石油相關企業之損害	火災、洩漏、損害數目	-
	發生孤立村落	孤立村落數、孤立家庭數	-
	重要設施*	防災據點、醫療據點、避難據點震時使用狀況	-
	池塘(堰塞湖)	危險度	-
	震後廢棄物*	建築廢棄物發生量(體積)	-
經濟損失	直接損失*	損害額	-
	間接損失*		-

註：表中註記*者，另依據季節(春、冬)、時間(清晨、早上 5 時、下午 6 時)、風速等條件設定，分別進行損害分析。

資料來源：整理自地震被害想定の總括と今後の方向性，

http://www.mri.co.jp/NEWS/magazine/journal/44/__icsFiles/afieldfile/2009/06/19/jm05013101.pdf；想定項目及び想定手法，

http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a10900/bousai/soutei/apd1_5_2008020602155654.pdf；第 3 部 被害想定手法，

<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/pdf/assumption.part3.pdf>。

一、人員傷亡

(一) 台灣

1. TELES 估計方法

TELES 系統估計醫療需求，乃以傷亡人口作為估計的基準，其將傷亡分為四級，(1)第一級需基本醫療，不需住院；(2)第二級需較多醫療手續且需住院，但無生命危險；(3)第三級若無適當且迅速的醫療將有立即的生命危險；(4)第四級立即死亡。TELES 之估計方法，乃根據建物損壞與橋樑系統發生不同損害程度之機率與人口分布關係，估計各級人員傷亡的分布。其估計方式是藉由事件樹 (event tree) 模型，分別估計不同事件發生機率下的各級傷亡分布，其機率估計式為：

$$P_{Casualties} = P_A \times P_E + P_B \times P_F + P_C \times P_G + P_D \times (P_H \times P_J + P_I \times P_K) \quad (4-4)$$

式(4-4)中 $P_{Casualties}$ 代表人員傷亡發生之機率； P_A 、 P_B 、 P_C 、 P_D 為四級傷亡之機率； P_H 與 P_I 為建物與橋樑發生倒塌的機率； P_E 、 P_F 、 P_G 、 P_J 、 P_K 為不同損害狀況下傷亡之機率。故人口傷亡數之估計式為：

$$EN = \sum_{i=1}^n P_{Casualties} \times N_i \quad (4-5)$$

式(4-5)中 EN 為評估地區預期傷亡人口總數； N_i 代表第 i 種土地使用類別之分布人口數。

2. 比例推估法

依比例推估，將現況人口與推測未來人口，分別乘上特定災害歷史事件的觀測值，例如以 921 大地震各縣市或各鄉鎮人員傷亡百分比的平均值與最大值×規劃地區總人口規模之方式進行估計。

(二) 日本

1. 因地震搖動引致傷亡推估

(1) 死者數推估

$$\text{死者數} = \text{木造死者數} + \text{非木造死者數} \quad (4-6)$$

$$\text{木造死者數} = t_w \times \text{區市町村別因震動造成的木造全壞棟數} \times \text{木造建物內的滯留率} \quad (4-7)$$

$$\text{非木造死者數} = t_n \times \text{區市町村別因震動造成的非木造全壞棟數} \times \text{非木造建物內的滯留率} \quad (4-8)$$

$$\text{木造建物內的滯留率} = \frac{\text{發生時刻內木造建物內的滯留人口}}{\text{早上五點木造建物內的滯留人口}} \quad (4-9)$$

$$\text{非木造建物內的滯留率} = \frac{\text{發生時刻內非木造建物內的滯留人口}}{\text{早上五點分木造建物內的滯留人口}} \quad (4-10)$$

上述參數值：

$$t_w = 0.0676, \quad t_n = 0.00840 \times \frac{P_{n0}}{P_{w0}} \times \frac{B_w}{B_n} \quad (4-11)$$

P_{w0} ：夜間人口(木造)、 P_{n0} ：夜間人口(非木造)、 B_w ：建物棟數(木造)、 B_n ：建物棟數(非木造)。

(2) 傷者數推估

A. 受傷人數推估

$$\text{受傷者數} = \text{木造受傷者數} + \text{非木造受傷者數} \quad (4-12)$$

$$\text{木造受傷者數} = \text{木造建物內的滯留人口} \times \text{受傷者率(木造)} \quad (4-13)$$

$$\text{非木造受傷者數} = \text{非木造建物內的滯留人口} \times \text{受傷者率(非木造)} \quad (4-14)$$

$$\text{受傷者率} = 0.12 \times \text{因震動的建物被害率} (0 \leq \text{建物被害率} < 0.25) \quad (4-15)$$

$$\text{受傷者率} = 0.16 \times \text{因震動的建物損害率} (0.25 \leq \text{建物被害率} < 0.375) \quad (4-16)$$

$$\text{受傷者率} = 0.01 (0.375 \leq \text{建物損害率}) \quad (4-17)$$

$$\text{因振動造成建物損害率} = \text{因震動造成的全壞率} + 1/2 \times \text{因震動造成的半壞率} \quad (4-18)$$

B. 重傷人數推估

$$\text{重傷者數} = \text{木造重傷者數} + \text{非木造重傷者數} \quad (4-19)$$

$$\text{木造重傷者數} = \text{木造建物內的滯留人口} \times \text{重傷者率(木造)} \quad (4-20)$$

$$\text{非木造重傷者數} = \text{非木造建物內的滯留人口} \times \text{重傷者率(非木造)} \quad (4-21)$$

$$\text{重傷者率} = 0.0309 \times \text{因搖動造成的建物全壞率} \quad (4-22)$$

2. 因急傾斜地崩壞引致傷亡推估

因搖動引起的斜面崩壞(崖崩)造成的家屋倒壞，假定因此伴隨而來死亡情況。需考慮地震發生時，建物內人員滯留狀況。

$$\text{死者數} = \text{木造死者數} + \text{非木造死者數} \quad (4-23)$$

$$\text{木造死者數} = 0.098 \times \text{因崖崩造成木造全毀棟數} \times 0.7 \times \text{木造建物內滯留人口比率} \quad (4-24)$$

$$\text{非木造死者數} = 0.098 \times \text{因崖崩造成木造全毀棟數} \times \text{非木造建物內滯留人口比率} \quad (4-25)$$

$$\text{受傷者數} = 1.25 \times \text{死者數} \quad (4-26)$$

$$\text{重傷者數} = \text{受傷者數} / 2 \quad (4-27)$$

$$\text{木造建物內滯留人口比率} = \text{發生時木造建物內滯留人口} / 24 \text{ 小時木造建內滯留人口平均} \quad (4-28)$$

$$\text{非木造建物內滯留人口比率} = \text{發生時刻非木造建物內滯留人口} / 24 \text{ 小時非木造}$$

$$\text{建物內滯留人口平均} \quad (4-29)$$

3. 因火災引致傷亡推估

(1) 死者數推估

A. 失火家屋逃離延遲

$$\text{從失火家屋內延遲逃離死者數} = 0.042 \times \text{失火件數} \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-30)$$

$$\text{屋內滯留人口比率} = \text{發生時屋內滯留人口} / 24 \text{ 小時內屋內滯留人口平均} \quad (4-31)$$

B. 倒壞燒毀家屋內的救出困難者：延遲逃離的人，需從平時火災的死者發生率中求出。

$$\text{因緊閉造成死者數} = \text{從全壞燒毀家屋內救出困難的人} \times (1 - \text{生存救出率}(0.387)) \quad (4-32)$$

$$\text{全壞燒毀家屋內救出困難的人} = (1 - \text{早期救出可能比例}(0.72)) \times \text{全壞燒毀家屋內需救助者數} \quad (4-33)$$

$$\begin{aligned} \text{全壞燒毀家屋內需救助者數} = & (\text{自立逃出困難者發生率}(0.117)) \times [\text{全壞率}/100](\%) \\ & \times (\text{全壞燒毀棟數}/\text{全壞棟數}) \times (\text{發生時失火家屋內滯留人口}) \end{aligned} \quad (4-34)$$

$$\text{全壞燒毀棟數} = \text{全壞棟數} \times (\text{燒毀棟數}/\text{建物棟數}) \quad (4-35)$$

$$\text{發生時失火家屋內滯留人口} = \text{發生時屋內滯留人口} \times [\text{失火件數}/(\text{事業所數} + \text{住宅戶數})] \quad (4-36)$$

C. 延燒擴大對於逃離產生之問題

關於延燒擴大時死者數計算，乃依據過去因大火致燒失棟數與死者數中導出。

$$\text{因火災延燒造成死者數} = (0.0218 \times \text{燒失棟數}) \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-37)$$

$$\text{屋內滯留人口比率} = \text{發生時屋內滯留人口} / 24 \text{ 小時內屋內滯留人口平均} \quad (4-38)$$

(2) 受傷者數推估

A. 從失火屋中的逃離延遲：從平時火災中造成的傷者發生率中求出。

$$\text{失火後因火災造成的重傷者數} = 0.238 \times \text{失火件數} \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-39)$$

$$\text{失火後因火災造成的輕傷者數} = 0.596 \times \text{失火件數} \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-40)$$

$$\text{屋內滯留人口比率} = \text{發生時屋內滯留人口} \times 24 \text{ 小時內屋內滯留人口平均} \quad (4-41)$$

B. 延燒中對於逃離產生的問題：依據過去大火造成災害的燒失棟數與受傷者數之數據導出其關係式。

$$\text{因火災延燒造成重傷者數} = 0.053 \times (0.5206 \times \text{燒毀棟數} - 253.37) \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-42)$$

$$\text{因火災延燒造成輕傷者數} = 0.137 \times (0.5206 \times \text{燒失棟數} - 253.37) \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-43)$$

但是，若燒失棟數 < 650 時，因火災延燒造成：

$$\text{重傷者數} = 0.053 \times 0.1308 \times \text{燒失棟數} \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-44)$$

$$\text{輕傷者數} = 0.137 \times 0.1308 \times \text{燒失棟數} \times \text{屋內滯留人口比率} \quad (4-45)$$

$$\text{屋內滯留人口比率} = \text{發生時屋內滯留人口} / 24 \text{ 小時內屋內滯留人口平均} \quad (4-46)$$

4. 因海嘯引致死者數推估

海嘯高度以 10M 網格為單位計算、50M 為合計單位。海嘯計算單位雖然是正方格子，但是 50M 網格和標準的網格單位無法相和，需進行加權平均。因滯留人口以 250M 區市町村為單位，轉換 50M 網格單位時，必須以土地利用現況調查的建物多邊型數合計值進行加權分配，再對應到各網格的淹水深度決定死亡率，算出死者數。依淹水深度有不同死亡率，但對於建築物等地下物或河川堤外地滯留的人，因計算基礎的定量數據在設定上有困難，故不納入死者計算。

5. 阻擋牆、自動販賣機等落下數

從建物阻擋屏相對位置求出阻擋牆、石牆等的分布數，使用地震強度與損害率關係式求出各設施損害數。關於自動販賣機落下則以阪神・淡路大地震落下率算出。

(1) 阻擋牆等損害率

$$\text{阻擋牆損害率} = -12.6 + 0.07 \times (\text{地表最大加速度})(\text{gal}) \quad (4-47)$$

$$\text{石牆損害率} = -26.6 + 0.168 \times (\text{地表最大加速度})(\text{gal}) \quad (4-48)$$

$$\text{水泥牆損害率} = -12.6 + 0.07 \times (\text{地表最大加速度})(\text{gal}) \quad (4-49)$$

(2) 因阻擋牆倒下造成傷亡率

A. 阻擋牆、石牆、水泥牆倒下造成死傷者

因無法確實掌握區市町村別屋外人口密度，需從交通人口調查步行者數及交通流量與密度關係推定，惟缺乏夜間數據故指不考慮時刻變化。

$$\text{死者數} = 0.00116 \times \text{區市町村別不同種類牆損害件數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-50)$$

$$\text{受傷者數} = 0.04 \times \text{區市町村別不同種類牆損害件數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-51)$$

$$\text{重傷者數} = 0.04 \times 0.39 \times \text{區市町村別不同種類牆損害件數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-52)$$

B. 因自動販賣機翻倒造成死傷者

設定東京都阻擋牆長度最大約 12.2m[等於一棟住宅用地面積(平成 10 年住宅土地統計調查平方根)]，自動販賣機最大設定 1m，死者數約為 1/12.2。

$$\text{死者數} = 0.00116 \times \text{區市町村別屋外自動販賣機倒落數} \times [(\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)) / 12.2] \quad (4-53)$$

$$\text{受傷者數} = 0.04 \times \text{區市町村別屋外自動販賣機倒落數} \times [(\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)) / 12.2] \quad (4-54)$$

$$\text{重傷者數} = 0.04 \times 0.39 \times [(\text{區市町村別屋外自動販賣機倒落數} \times \text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)) / 12.2] \quad (4-55)$$

C. 阻擋牆或自動販賣機倒落造成人員傷害推估

1. 計算因阻擋牆等倒壞或自動販賣機倒落造成死傷者率。

$$\text{死傷者數} = \text{死傷者率} \times \text{區市町村別不同種類牆損害件數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-56)$$

$$\text{自動販賣機倒落致死傷者率} = \text{阻擋牆死傷者率} \times \text{阻擋牆和自動販賣機幅度不同的補正} \quad (4-57)$$

6. 發生屋外落下物的建築物棟數

落下物除因建物損害而致外，如建物未損害但因搖動產生落下物亦需考慮；對於即使沒有建物損害因搖動發生落下物可能之建物，需從具落下危險建物棟數比率及這些建物改修率(落下物對策實施率)中假定出；從構造別年次別的建物棟數中假定招牌等落下，算出建物棟數，再乘上因落下物造成的死傷率，算出人員傷害數。

$$\text{死者數} = 0.000046 \times \text{有落下物可能之建物棟數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-58)$$

$$\text{受傷者數} = 0.0034 \times \text{有落下物可能之建物棟數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-59)$$

$$\text{重傷者數} = 0.000036 \times \text{有落下物可能之建物棟數} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-60)$$

(1) 因屋外落下物造成人員傷害推估

$$\text{死傷者數} = \text{死傷者率} \times \text{區市町村別中有落下物危險性之建物棟數比率} \times [\text{區市町村別屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)] \quad (4-61)$$

(2) 屋內物品(家具類等屋內落下物)致人員傷害推估：算出因家具類等倒落與屋內落下物造成死者數。

二、建物損害

(一) 液化

以液化可能性數值(PL 值)為基本，決定液化危險度級別，設定液化面積率與全壞率。

$$\text{木造全壞棟數} = \text{木造舊築年全壞棟數} + \text{木造中築年全壞棟數} + \text{木造新築年全壞棟數} \quad (4-62)$$

$$\text{木造舊築年全壞棟數} = \text{木造舊築年建物棟數} \times \text{木造舊築年因液態化造成的全壞率} \times \text{液化面積率} \quad (4-63)$$

$$\text{木造中築年全壞棟數} = \text{木造中築年建物棟數} \times \text{木造中築年因液化造成的全壞率} \times \text{液化面積率} \quad (4-64)$$

$$\text{木造新築年全壞棟數} = \text{木造新築年建物棟數} \times \text{木造新築年因液化造成的全壞率} \times \text{液化面積率} \quad (4-65)$$

$$\text{非木造全壞棟數} = \text{非木造建物數} \times \text{無基礎抗力建物比例} \times \text{非木造因液化造成全壞率} \times \text{液化面積率} \quad (4-66)$$

1. 液化危險度等級與液化面積率

(1) 液化危險度等級依照 P_L 值來決定 (參見表 4-2)，等級 D、E 設定為不會發生。

(2) 以東日本大震災時液化發生狀況相關檢討結果為基礎，各液化危險度等級場所中液化面積如下。

表 4-2 P_L 值液化面積率

等級	P_L 值	說明	液化面積率
A	$P_L > 15.0$	液化發生可能性高	65%
B	$5.0 < P_L \leq 15.0$	有可能發生液化	18%
C	$0.0 < P_L \leq 5.0$	液化發生可能性低	7%
D	$P_L = 0.0$	無液化發生可能性	0%
E	-	對象外	0%

資料來源：第 3 部 被害想定手法，

<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/pdf/assumption.part3.pdf>。

2. 因液化造成之全壞率

(1) 以東日本大震災實際數據為依據，因液化造成的建物損害率如以下所設定。

(2) 液化危險度等級 A~C 適用於表 4-3 損害率。

(3) 於因地搖損害中算出半壞率時使用暫時全半壞率(半壞以上可能性)，惟液化建物損害計算，為能直接從受災證明抽出大規模半壞及半壞棟數目，採直接計算。

表 4-3 液化建物全壞率、大規模半壞以上率、半壞率

	全壞率	大規模半壞以上率	半壞率
損害率	0.60%	7.96%	14.38%

資料來源：第 3 部 被害想定手法，

<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/pdf/assumption.part3.pdf>。

(二) 因急傾斜地崩壞損害推估

假設於急傾斜地崩壞防止設施之施工完成地區，應不會造成建物與人員傷亡，從發生急傾斜地崩壞地區之崩壞機率與崩壞地建物全壞率中，算出因斜面災害所造成的建物損害。

$$\text{全壞棟數} = \text{危險地區內戶數} \times \text{崩壞機率} \times \text{崩壞地建物全壞率} \quad (4-67)$$

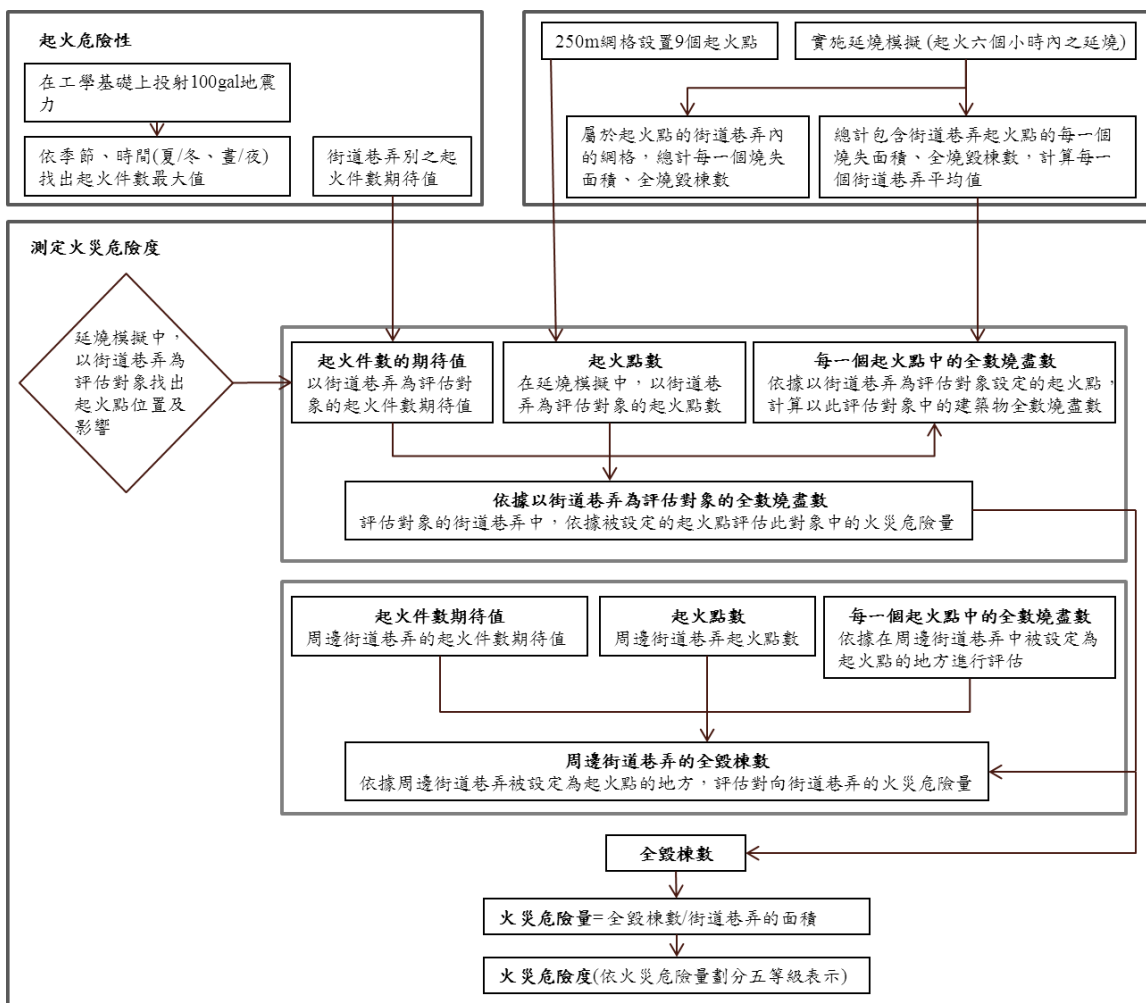


圖 4-1 火災危險度測定流程

資料來源：第 3 章 火災危險度，

http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/download/houkoku_3.pdf

(三) 火災

火災危險度測定乃依據東京消防廳「起火危險度」及「延燒危險度」調查結果為基礎，進行各街道起火件數期待值及延燒模擬，可以下圖 4-1 表示起火件數期待值與全數燒盡的棟數，並將火災危險量劃分五等級。

(四) 海嘯

海嘯高度以 10M 網格為單位計算、50M 為合計單位。海嘯計算單位雖然是正方格，但 50M 網格和標準的網格單位無法相容，需進行加權平均。另因滯留人口以 250M 區市町村為單位，轉換 50M 網格單位時，必須以土地利用現況調查的建物多邊型數合計值進行加權計算分配。依照東日本大震災海嘯受災現況調查(國土交通省)，運用淹水深度分別計算全壞率、大規模半壞以上率、半壞以上率，對應各網格淹水深度，算出全壞棟數、大規模半壞棟數、半壞棟數。

三、交通設施損害

(一) 道路受損推估

推估道路設施中，道路橋梁、橋墩受損可能性(%)。落橋、橋變型歸類為大損害(機能障礙)，部分龜裂及水泥剝離歸類為小損害(無機能障礙)。

$$\text{震度六以上區域內橋梁、橋墩數} = \text{橋墩數(橋梁數)}(\text{區市町村別}) \times \text{區市町村內震度六以上面積比例}(\%) \quad (4-68)$$

$$\text{震度六以上區內面積比例}(\%) = \frac{\text{區市町村別中震度六以上面積}}{\text{每區市町村全體面積}} \quad (4-69)$$

$$\text{橋梁、橋墩損害率}(\%) = [\text{橋梁數、橋墩數} \times (\text{S55 以前基準橋墩損害率}) \times (1 - \text{S55 以後符合基準橋墩比例})] \div \text{管理橋梁、橋墩數} \quad (4-70)$$

(二) 狹窄街道閉塞推估

以阪神・淡路大地震調查數據為基礎，算出每個網格因週邊家屋倒壞造成連接道路的閉塞發生率。

$$\text{網格別的连接道路閉塞率} = \frac{\sum \text{每個道路幅員的延長} \times \text{每個道路幅員別的连接道路閉塞率}}{\sum \text{每個道路幅員的延長}} \quad (4-71)$$

1. 建物受損率：需依據搖動、液化計算之。

$$\text{建物受損率}(\%) = \text{建物全壞率}(\%) + \text{建物半壞率}(\%) \div 2 \quad (4-72)$$

2. 不同道路幅員別的连接道路閉塞率

幅員未滿 3.5m 道路

$$\text{連接道路閉塞率(\%)}=0.9009 \times \text{建物受損率(\%)}+19.845 \quad (4-73)$$

幅員 3.5m 以上未滿 5.5m 道路

$$\text{連接道路閉塞率(\%)}=0.3514 \times \text{建物受損率(\%)}+13.189 \quad (4-74)$$

幅員 5.5m 以上未滿 13m 道路

$$\text{連接道路閉塞率(\%)}=0.2229 \times \text{建築物受損率(\%)}-1.5026 \quad (4-75)$$

(三) 因交通阻塞造成緊急輸送道路的交通阻礙推估

地震發生時，常因交通阻塞造成廣大影響，為確保緊急輸送道路應急活動用之幹線道路通暢，估算緊急車輛交通障礙可能性。

(四) 鐵道設施損害推估

以高架橋、橋梁為主要損害對象，進行損害評估。相關假設如下：(1)地下部分因隧道採耐震構造與且各區間進行耐震補強，設定不會發生交通障礙；(2)耐震強化後橋墩，設定不會發生落橋、倒壞，且假設受災程度僅在損傷、龜裂程度；(3)設定耐震強化後不會有大損害，而關於中小損害發生比例設定為耐震強化前的大損害加上中小損害的發生比例；(4)新幹線震度別(震度 7 或 6)鐵路長度和阪神・淡路大震災時相當長度的落橋、倒壞率中算出大損害比例；(5)新幹線以外所有鐵道路線以及私鐵線，從阪神・淡路大震災時實際狀況，算出車站間最大震度在 6 以上地區之大損害(落橋、倒壞)及中小損害比例。

$$\text{新幹線損害比例(\%)}=[\text{震度 6 以上區域內新幹線長度(km)} \times \text{震度別損害率(\%)}] \div \text{新幹線長度(km)} \quad (4-76)$$

新幹線以外所有鐵道路線、私鐵線

$$\text{損害比例(\%)}=[\text{震度 6 以上區域內橋墩數} \times \text{震度別損害率(\%)}] \div \text{全橋墩數} \quad (4-77)$$

(五) 港灣設施損害推估

算出因岩壁受損致港灣機能障害，依據作用在各港灣構造物的基礎工學基礎加速度，算出崩壞狀態下大概需要的長時復甦損害基數。

$$F(a)=\phi[\ln(a/c)/\xi] \quad (4-78)$$

a ：最大加速度、 $c=414.8$ 、 $\xi=0.45$

四、維生管線損害

(一) 電力

停電戶數計算包含：(1)海嘯淹水及建物失火造成停電戶數；(2)電線杆損害造成停電戶數；(3)地下供給有關之街道設備損壞造成停電戶數；(4)停電率為該停電戶數除以路燈戶數(包含地下供給路燈戶)計算；(5)假定海嘯淹水區域會發生全面性停電；(6)非延燒區域停電為電線杆折損及地下供給有關之街道設備損害所致停電。以上，為進行宏觀損害境況模擬手法評估，故不進行基本設施、機能(發電所、變電所、基礎送電網等)損害評價。

$$\text{停電率} = \text{停電戶數} / \text{路燈戶數(包含地下供給路燈數)} \quad (4-79)$$

$$\text{海嘯淹水區停電戶數} = \text{路燈數} \times \text{淹水區域覆蓋率} \quad (4-80)$$

$$\text{延燒區域停電戶數} = \text{路燈數} \times \text{燒失建物棟數} \quad (4-81)$$

$$\text{非延燒區域停電戶數} = \text{路燈損壞根數} \times \text{電線杆損害，一根電線杆所造成停電戶數} \quad (4-82)$$

$$\text{地下區域停電戶數} = \text{地下供給路燈數} \times \text{街上設備損壞造成停電率} \quad (4-83)$$

(二) 通信

固定電話不通率，可從燒毀面積(燒毀建物棟數率)及電線杆損害，算出不通線路數及家庭需求線路數。固定電話和手機，原則上沿習前面所提方法。手機不通為停電(東京電力)及線路不通(NTT)之計算中假設。以都內電話用戶線路數為對象：(1)不通率從燒毀面積(燒毀建物棟數率)及電線杆損害，算出不通線路數及家庭需求線路數；(2)火燒延燒區域需對照燒毀建物棟數率假設通信斷絕；(3)非延燒區域可從電線杆損害估計通訊斷絕情形。電線杆損害原因從「搖動」及「建物倒壞牽連」設定；(4)地下區域不列為估計對象；(5)因停電造成終端機無法使用情況不列為估計對象；(6)通信設備重要據點因耐震化及備用設備和多重化的實行，除阪神・淡路大震災時因電力供給停止造成交通機能停止外，因未發生機能障礙，故重要據點受災造成之機能停止不列為估計對象。

1. 固定電話

$$\text{不通率} = \text{不通線路率} / \text{家庭需求線路數} \quad (4-84)$$

$$\text{海嘯淹水區域不通線路率} = \text{家庭需求線路數} \times \text{淹水區域覆蓋率} \quad (4-85)$$

$$\text{延燒區域不通線路率} = \text{家庭需求線路數} \times \text{燒毀建物棟數率} \quad (4-86)$$

$$\text{非延燒區域不通線路率} = \text{電線杆損害根數} \times \text{一根電線杆損害不通線路率} \quad (4-87)$$

2. 行動電話

從電力損害假設結果，得到停電率(電力供給戶數對停電戶數比例)；從固定電話線路損害假設結果，估計線路不通率(固定電話線路數對線路不通數比例)，以評估每個地區發生行動電話不通可能性。另因移動媒體關係，分成三階段評估非線路不通而是有不通的可能性。但對於因為話規定造成壅塞，因定量評估有其困難，不列為計算對象。另因無法得到和行動電話基地台相關數據，假設每網格設置基地台，從每網格停電率和線路不通率中計算。

(三) 瓦斯

低壓瓦斯供給障礙率，可從 SI 值分布、供給停止件數及需要家庭件數中估計。阪神・淡路大震災後，依據資源廳發行「瓦斯地震對策檢討會報告書(1996 年)」，提出即時供給停止判斷基準(第 1 次緊急停止判斷基準)。尤其是地震發生時，SI 值若超過 60kine，需立即停止低壓瓦斯供給，目前全國都市瓦斯業者，已作為供給停止判斷基準。

關於提供都市瓦斯的製造工廠、高壓瓦斯導管、中壓導管等重要設備，設計、建造方面須可承受阪神・淡路大震災等級地震。目前地震假定亦假設製造供給未受障礙，高壓、中壓瓦斯亦可繼續供給。關於殘存部分，低耐震性材料之低壓瓦斯導管，則假設地震時將遭受損害，而基於安全需停止低壓瓦斯的供給。

(四) 上水道

斷水率以表面速度分布及液化分布為基礎，依水道管線損害率進行估計。水道管線損害率，乃依據阪神・淡路大震災等過去地震實際狀況為基礎，設計標準損害率，再以東日本大震災水道管線損害實際狀況為出發點，以液化危險度等級別及線路種類、管徑分別進行補正。

$$\text{斷水率(災後隔日)} = 1 / (1 + 0.307 \times \text{配水管損壞百分比}^{-1.17}) \quad (4-88)$$

$$\text{配水管損壞百分比(處/km)} = \text{水管損壞數(處)} / \text{配水管的延長(km)} \quad (4-89)$$

$$\text{配水管損壞數} = \text{標準損壞率} \times \text{依液化危險度等級補正係數} \times \text{管線種類、管徑別補正係數} \times \text{延長} \quad (4-90)$$

$$\text{標準損害率(基於包含阪神・淡路大震災等過去地震受災實態)} \quad (4-91)$$

$$\text{標準損壞率(處/km)} = 2.24 \times 10^{-3} \times [\text{地表速度(cm/sec)} - 20]^{.51} \quad (4-92)$$

(五) 下水道

依據震動分布及液化分布，將管線損害延長與管線總延長算出管線別損害率。

$$\text{下水管道管線損害率} = \text{管線損害延長} / \text{管線總延長} \quad (4-93)$$

五、避難者、歸宅困難者

(一) 台灣

1. 比例推估法

此方法主要依人口的特定比率，估計於災害發生後，不同階段的避難收容設施的需求。目前國內相關文獻，多以 921 集集地震之經驗值，作為估計的基礎 (何明錦、黃健二，2006)。其主要的估計方式歸納如下：

- (1) 緊急避難階段(震後數小時內)：全區現況或目標年之總人口數。
- (2) 臨時避難階段(3 天內)：0.75×全區現況或目標年之總人口數。
- (3) 短期避難階段(3 天至 1 個月)：以 921 地震台中縣各鄉鎮統計之平均值及最大值 (占全部人口之比率)×現況或目標年之總人口數。
- (4) 長期避難階段：依比例法推估之建物全半倒戶數×921 大地震受災戶安置組合屋之比例。

2. HAZ-Taiwan 與 TELES 系統

HAZ-Taiwan 與 TELES 系統提供一套較具系統的庇護設施需求的估計模式，其估計避難設施需求的方法，乃透過無家可歸家庭戶數估計庇護所的需求。TELES 系統內設之無家可歸人數，係以地震引致工程結構物損害，導致建物居住功能喪失的住所單元 (dwelling unit) 數估計之。因此估計地震發生後無家可歸家庭數，係包含：建物結構元件損害，與建物水電功能喪失導致居住功能喪失的住所單元總數。所謂建物結構元件損害導致居住功能喪失之住所，係參酌 HAZ-Taiwan 系統之標準，採較廣泛的認定標準，以建物結構損害程度達中等損害程度以上者，皆認定為居住功能喪失之住所。然因 TELES 系統對於工程結構物損害評估模組，僅完成一般建物模組之建置，故此處將建物水電功能喪失導致居住功能喪失之部分忽略。以下即分就

臨時收容所與中長期收容所的估計方法說明之。

(1) 臨時收容

A. 需臨時收容戶數估計

需臨時收容之總戶數，可以式(4-94)進行估計：

$$\#DH = \#HH \times (W_M \times \%M + W_E \div \%E + W_C \times \%C) \quad (4-94)$$

$\#DH$ ：各村里震後需收容之總戶數；

$\#HH$ ：各村里總戶數；

W_M, W_E, W_C ：住宅用途建物中在中度(d3)、嚴重(d4)及完全損壞(d5)狀態下的住戶收容比例；

$\%M, \%E, \%C$ ：各種住宅用途建物在中度、嚴重及完全損壞狀態的機率

B. 無家可歸的總戶數估計

需收容之無家可歸人數可以式(4-95)估計：

$$\#DP = \#POP \times \left(\frac{\#DH}{\#HH} \right) \quad (4-95)$$

$\#DP$ ：震後需搬遷人數

$\#POP$ ：各村里統計之總人數

(2) 中長期收容需求估計

TELES 針對中長期的收容人口需求估計，乃考慮不同社會階層與居民人口特性進行估計，其估計方式如下：

$$\#S = \#DP \times \sum_i \sum_j \sum_k \alpha_{ijk} \times HI_i \times HO_j \times HA_k \quad (4-96)$$

$\#S$ ：震後短期避難收容需求；

$\#DP$ ：震後需搬遷人數；

HI_i ：各村里之戶數中家庭可支配所得屬於 i 等級的戶數比率；

HO_j ：各村里之戶數中住宅屬於自有或租用的比率；

HA_k ：各村里之人口中年齡屬於不同等級的人口比率；

α_{ijk} 則表示家庭收入、住宅自有率與年齡在避難需求推估上之權重；

$\alpha_{ijk} = I_i \times om_j \times am_k$ ；

I_i :不同家庭可支配所得等級之修正係數；

om_j :房屋自有率修正係數（可依不同地區建立參數系統）；

am_k :年齡的修正係數（可依不同地區建立參數系統）；

（二）日本

1. 避難者

依照區市町村，分別計算因建物與生命線損害，從住宅進行避難者計算避難者數。避難者數分為避難所避難(避難所生活者數)，及向避難者以外地方避難(疏散者數)算出。以維生系統「一日後」供給停止的影響為最大，算出避難者數。避難者數估計方式如下：

$$\text{避難人口} = \text{全壞、燒毀住宅人口} + 0.503 \times \text{半壞人口} \quad (4-97)$$

$$\text{避難所生活者數} = 0.65 \times \text{避難人口} \quad (4-98)$$

$$\text{疏散者數} = 0.35 \times \text{避難人口} \quad (4-99)$$

因維生系統停止而增加避難者數

$$\begin{aligned} \text{避難人口} = & (\text{全壞、燒毀住宅人口} + 0.503 \times \text{半壞人口}) + \text{該區市町村最大生命線障害} \\ & \text{率} \times \text{伴隨著維生系統損壞而造成避難率} \times \text{未受害人口} \end{aligned} \quad (4-100)$$

$$\text{避難所生活者數} = 0.65 \times \text{避難人口} \quad (4-101)$$

$$\text{疏散者數} = 0.35 \times \text{避難人口} \quad (4-102)$$

2. 歸宅困難者

過去調查對回家困難者定義如下：「地震發生時，因電車等交通設施停止及車子禁止利用，而造成想回家卻回不了的人」。因此，以距離帶區別合計出各地區內滯留者數目，乘上不同距離帶的回家困難率算出回家困難者數。東京都曾實施問卷調查，掌握滯留都內者到達自己家的距離帶別，算出回家困難者數。

另外，為避免災害發生後的混亂及守護自己安全，乃鼓勵儘量留在工作場所或者學校，而不鼓勵快速採取回家行動行為。因此，需掌握「地震發生時，東京都內滯留人數」，其中特別重要對策為「不是在工作場所及學校等地方，而是在災害發生後屋外滯留的人數」。包含如下：

(1) 從東京都市圈內流入的人(自家外的滯留者) = 調查中目的為私人或不明者

+調查中目的為業務或學校者+滯留目的不明人口 (4-103)

(2) 東京都市圈內徒步回家困難者：從東京都市圈內流入者數×以回家的距離帶估計的人口比例(問卷調查結果)，以算出不同距離帶的滯留者數。

(3) 回家困難者總數=從東京都外流入者數+東京都內徒步回家困難者 (4-104)

六、其他

(一) 災時需被救援者數

算出災害時需要被救援者(獨居高齡者、殘障、五歲以下幼兒)之死者數。

災時需被救援死者數=災時需被救援者數目×災時需被救援者之死者率 (4-105)

1. 搖動、液化、急傾斜地崩壞、海嘯造成需被救援者之死者率

搖動、液化、急傾斜地崩壞、海嘯造成需被救援者之死者率

=搖動、液化、急傾斜地崩壞、海嘯造成死者率×3.0 (4-106)

搖動、液化、急傾斜地崩壞、海嘯造成死者率

=搖動、液化、急傾斜地崩壞、海嘯造成死者數÷屋內滯留人口 (4-107)

2. 火災造成需被救援者之死者率

火災造成需被救援者之死者率=火災造成死者率×3.0×各時間帶、各風速下的燒毀棟數比率 (4-108)

火災造成死者率=因火災造成死者數÷屋內滯留人口 (4-109)

各時間帶、各風速下的燒失棟數比率=各時間帶、各風速下的燒毀棟數比率/各時間帶的燒毀棟數 (4-110)

(二) 自力脫困困難者

算出因建物倒壞被壓倒在地、活埋等自立脫困困難者數。分別計算木造、非木造建築全壞造成的自力脫困困難者。

自力脫困困難者數=屋內滯留人口×自力脫困困難者發生率

自力脫困困難者發生率=需被消防隊救助的被壓倒在地、活埋者率÷14% (4-111)

=0.0164×因搖動造成的建物全壞率÷14% (4-112)

=0.117×因搖動造成的建物全壞率 (4-113)

(三) 震災廢棄物

主要以建物全壞、燒失造成的軀體殘骸物為對象。以受災建物總地板面積乘上該面積的瓦礫重量算出。

$$\begin{aligned} \text{震災廢棄物發生量} = & (\text{木造建築全壞棟數} + \text{木造半壞棟數}/2) \times \text{一棟的樓地板面積} \times \\ & \text{等同於木造地板面積的瓦礫重量} + (\text{非木造建築全壞棟數} + \\ & \text{木造半壞棟數}/2) \times \text{一棟的樓地板面積} \times \text{等同於非木造地板} \\ & \text{面積的瓦礫重量} + \text{燒失棟數} \times \text{一棟的樓地板面積} \times \text{等同於燒} \\ & \text{失面積的瓦礫重量} + (\text{因海嘯造成的全壞棟數} + \text{因海嘯造成} \\ & \text{的半壞棟數}/2) \times \text{相同於海嘯損失棟數的瓦礫重量} \quad (4-114) \end{aligned}$$

東日本大震災中相當於海嘯損失棟數的瓦礫重量

$$\text{相當於海嘯損失棟數的瓦礫重量(t/棟)} = \text{瓦礫估計量(t)} / (\text{全壞棟數} + \text{半壞棟數}/2) \quad (4-115)$$

(四) 地下街損害

2. 關於群眾蜂擁而至地下街造成的死傷者數，假設如下：

$$\text{死者率} = 11/6400 = 0.0017 (0.17\%)$$

$$\text{受傷者率} = 247/6400 = 0.039 (3.9\%)$$

貳、水災

日本水災評估項目定量化指標如表 4-4 所示，包含：直接損失(資產損失、人員傷害、重要設施損害)、間接損害(勞動損失、受波及的損害、精神損失、其他、風險溢價 (risk premium)、考慮回到淹水前的社會經濟活動水平之時間、影響)，共計 36 項定量化指標與 21 項定性指標。

表 4-4 水災評估項目定量化指標

		評估項目		定量化指標
直接損失	資產損失	一般資產損失	房屋	住宅、事業用建物淹水
			家庭用品	家具、車子等淹水損失
			事業所應計	事業所固定資產中，除去土地、建物後應折舊資產的淹水
			事業所庫存	事業所庫存品的淹水損失
			農漁家應計	農漁業生產相關農漁家固定資產除去土地、建物應折舊資
			農漁家庫存	農漁家庫存品淹水損失

評估項目				定量化指標
	農產物損失		因為淹水產生農作物損失	
	公共土木設施等損失		公共土木設施、公益事業設施、農地、農業用設施淹水損失	
	人員傷害		● 淹水區域內人口 ● 災害時需要被援救者數 ● 死者數 ● 因孤立造成的被害 ● 和避難相關的被害 等	● 淹水區域內人口 ● 淹水區域內災害時需要被援救者數 ● 死者數 ● 最大孤立者數 ● 孤立 3 日以上的人數 ● 平均十年的避難次數 ● 平均十年的總避難者數 ● 避難可能的時間 等
	重要設施損害	醫療、福利設施等的損害	醫療設施、社會福利設施等	因醫療、社會福利設施等受災，造成內部人員傷亡、救急醫療的停滯等。
		防災據點設施的損害	政府機關、警察、消防等防災據點設施	因政府機關、警察、消防等防災據點設施的損害，造成對被害者救援停滯、治安惡化、行政事務停滯等
間接損失	勞動損失	營業停止損害	家計	淹水致妨害家庭平時的家事勞動、閒暇活動等損害
			事業所	淹水致事業所生產的停止、停滯(生產量的減少)
			公共、公益服務	淹水致公共、公益服務的停止・停滯
	受波及的損害	緊急對策費用	家計	淹水後家庭清掃、購買飲用水等替代品之額外支出
			事業所	同上
			國、地方公共團體	同家計損害及市町村等發給之緊急融資利息及慰問金等
		因交通中斷所致損害	道路、鐵道、機場、港灣等	● 主要道路中斷 ● 因道路中斷受影響的交通量 ● 因道路中斷增加的行走時間等 ● 主要鐵道中斷 ● 因鐵路中斷受影響的利用者數等

評估項目				定量化指標
	因生命線機能停止遭受波及的損害	電力、自來水、瓦斯、通信等	因電力、瓦斯、自來水供給停止，造成對周邊地區的波及損害	● 因電力機能停止的影響人口 ● 因瓦斯機能停止的影響人口 ● 因上水道機能停止的影響人口 ● 因下水道停止的影響人口 ● 因電話機能停止的影響人口 ● 電力機能復甦所需要時間 ● 瓦斯機能復甦所需要時間 ● 上水道機能復甦所需要時間 ● 下水道機能復甦所需要時間 ● 通信的機能復甦所需要的時間等
	經濟被害區域內、外受波及的損害	事業所	因為中間產品的不足造成周邊事業所生產量減少，波及區域內、外之損害	● 使用產業關聯分析等經濟模型之經濟波及損害額 ● 高市場佔有率之企業受災，伴隨而來的產業鏈(supply chain)影響等
精神損失	伴隨著資產損害而來		因資產損害造成的精神打擊	
	伴隨著勞力損害而來		因勞力損害造成的精神打擊	
	伴隨著人身損害而來		因人身被害造成的精神打擊	
	伴隨著災後損害而來		因清掃勞動等造成的精神打擊	
	伴隨著波及損害而來		因波及損害造成的精神打擊	
其它	地下空間的損害		地下鐵、地下街等地下設施淹水，複雜連結的地下空間因淹水擴大伴隨而來的延遲逃離的損害、都市機能麻痺及受波及損害等	● 淹水的地下鐵路線 ● 因地下鐵淹水而被影響到的利用者數 ● 淹水的地下設施 ● 因地下設施淹水所受到的影響利用者數 等
	文化財的損害		文化財、文化設施的損害	淹水的文化財 等
	水災廢棄物的產生		水災廢棄物的暫時放置場、處理場的不足，衛生環境不良引發的損害	● 水災廢棄物的產生量 等
風險溢價			對於可能受災的不安	
考慮回到淹水前的社會經濟活動水平之時間、影響			因為淹水而降低個人或地區的社會經濟活動水平，要考慮讓現狀回到過去的水準所需花費時間及其影響	

資料來源：「水害による被害推計の手引き（試行版）」，

http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/seisaku/kenkyukai_hyouka/dai03kai/dai03kai_siryou2-1.pdf。

一、傷亡人員

為能量化人員受害程度，藉由過去災害經驗調查與既有研究，構築損害評估方法，以下即針對，避難者數(避難率)、死者數、孤立者數的推估方法說明如下。

(一) 避難者率

關於避難行為乃透過問卷調查進行實證分析，是否進行避難，考量因素包含情報傳達、過去水災經驗、年齡、健康狀態、受災時天候、發生時間等，從觀察過去災害案例，可知不同水災其避難率存在極大差異。

(二) 死者數

雖可從假設造成死亡原因，並從其現象推定死者數，惟死亡原因眾多(如屋內淹水而溺水、步行中被水流沖走、落入溝渠等)，故欲清楚界定因果關係及推估死者數量乃困難之工作。目前死者數推估相關研究如表 4-5 所示。死者數模型推估方法應考量；(1)淹水深等洪水型態，(2)需反應被害減輕度，如避難對策等，及(3)最重要的需對近年發生之大規模水災進行驗證，目前符合上述條件且廣泛應用者為 LIFESim 模型。

表 4-5 人員傷亡(死亡數)推估方法

方法	內容
LIFESim 模型	根據淹水深、年齡、建築物樓層數評估死亡率算出死者數。
從洪水氾濫區動水壓評估死者數	每 500m 地形區塊中，從氾濫流的水深、流速可得到最大動水壓和房屋全壞率之關係。從每一種類災害(颱風漲潮、颱風水災、豪雨水災、地震海嘯)整理出房屋全壞率和死者、行蹤不明者數的關係，求出死者數。
從洪水氾濫區淹水屋數評估死者數	淹水屋數可綜合反映出洪水規模以及個人、地區、社會的防災力，選此為指標整理出人的被害和其關係。從每一種災害(梅雨型、颱風型)中可求出人的被害。

資料來源：大規模水害時の人的被害の推定について，

<http://jice.or.jp/oshirase/200809250/03-sekiguchi.pdf>。

LIFESim 模型為美國陸軍工兵隊，為預測伴隨洪水所帶來的人命損失所開發之模型。其考慮情境分為水災發生時，65 歲以上者與未滿 65 歲人口死亡率兩種情境估計。再就兩種年齡層人口，依至少於住宅、建築物最頂層避難、未滿 65 歲者於屋頂上等避難，分別估計從地板起算淹水深度所造成死亡率(危險度)的差異¹⁷(參見圖

¹⁷ 如需應用此模型，需先檢驗死者年齡構成、平均身高、住宅地板和樓梯高等參數是否與國內相符，確認可參用後再進行本土化修正。

4-2)。此模式適用於死者數推估，估計方式乃將各地區淹水深度以及年齡、建築物樓數人口所造成的各危險度的人數總計，將這些乘上死亡率即可算出。

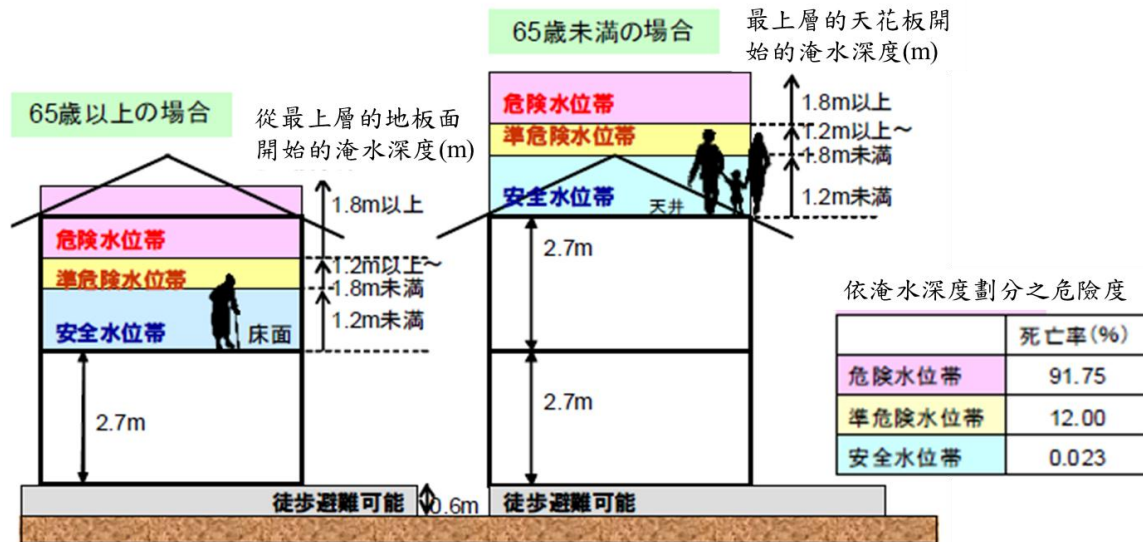


圖 4-2 LIFESim 模型概念圖

資料來源：尾関 信行(2008)。

關於孤立者數的推估，凡於淹水區域範圍內，無法即時進行區外避難者，且水深達避難困難程度者皆屬之。通常水深超過膝蓋以上即避難困難，惟仍需以過去經驗設定。例如，從伊勢灣颱風檢討報告指出，男性成人約 70cm、女性約 50cm 以下。而東海豪雨水災，水深高於膝蓋(約 50cm 以上)即需使用橡膠船救助。此外可利用排水使淹水區域、淹水深度減少，並依時間經過計算孤立者數（參見圖 4-3）。另外，亦可比較有無運用船舶進行救援孤立者數之變化，將一定時間內救援可能人數乘上船數、可能活動時間後，算出救援者數，算式如下：

$$\text{救援者數(人/日)} = \text{一艘船一定時間內救援的可能人數(人/時間/艘)} \times \text{船的數量(艘)} \times \text{需要時間(時間/日)} \quad (4-116)$$

$$\text{一艘船一定時間內救援的可能人數(人/時間/艘)} = \text{救援者的乘船人數} / \text{一個循環所需時間(時間)} \quad (4-117)$$

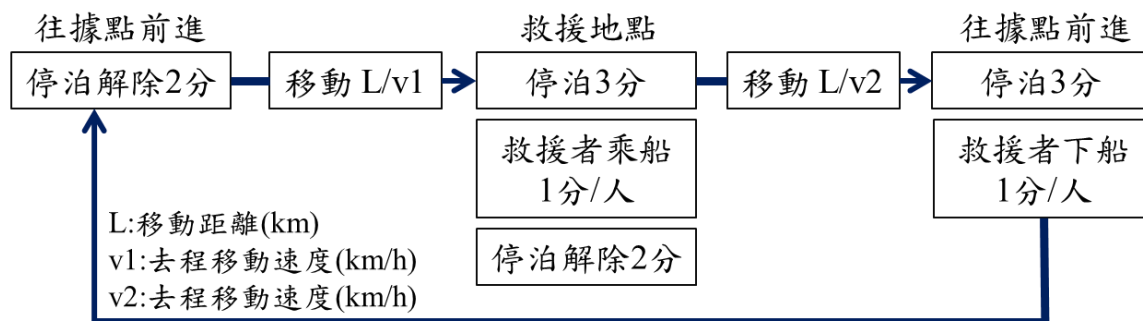


圖 4-3 救援程序循環圖

資料來源：尾関 信行(2008)。

(三) 災時淹水區域內需援助者數

洪水時的受災風險，會隨著自主性移動的困難度，或是認知危險的困難度而提高。因此，災害時需援助者的推算對象為淹水地區人口中之高齡者、身障者、嬰幼兒及孕婦等。

$$\text{需援助者數} = (\text{淹水區域內人口}) \times (\text{該地區災時需援助者比例}) \quad (4-118)$$

(四) 受困三日以上者數

一旦發生大規模水患，範圍內上下水道、電力、瓦斯等生活線機能恐有停止之虞。此將導致飲用水缺乏、存放於冰箱內生鮮食物或冷凍食品經過幾天後便無法食用。據推測各家庭中飲用水或食物儲備多為3天份，若受困超過3天將缺乏飲用水或食物，以致危害健康，最嚴重情況可能危及生命安全。故需推算出淹水深度造成避難困難且持續3天以上之地區人口。避難率設定0%、40%、80%三種模式，且假設難以進行避難之淹水深度為會難以徒步移動水深50cm以上。

$$\text{受困3日以上者數} = (\text{難以避難之淹水狀況持續3日以上地區之人口}) \times [1 - (\text{避難率})] \quad (4-119)$$

(五) 十年內避難次數

「避難判斷水位」為避難勸告發佈基準，乃根據水位到達有氾濫之虞「氾濫危險水位」，再加上考量避難行動及資訊傳播所需時間內會上升之水位而設定。「氾濫危險水位」因堤防整備等因素，有可能設定得比目前更高，「避難判斷水位」因而可能因此調高。此外，因河道整備或洪水調節設施，使得水位上升速度減緩之情況下，

不論「氾濫危險水位」如何改變，「避難判斷水位」可設定得更高。換言之，可隨著工程設施條件的改善，可設定較高之「避難判斷水位」，「避難判斷水位」頻率可能因而降低。

基於此觀點，設定工程實施後「避難判斷水位」，在工程實施後治水設施進行模擬，計算出 10 年內到達避難判斷水位以上次數。而對於「避難判斷水位」設於複數地點的河川，則可將各地點次數平均計算，根據該河川特性進行推算。此外，設定為「10 年內」是因在設定避難判斷水位時，一般都是參考過去 10 年內的水位上升的緣故。依據河川之特性，如有更加合適的選項，亦可考慮 10 年以外的時間。

$$\text{每 10 年的避難次數} = (\text{10 年內達到避難判斷水位之次數}) \quad (4-120)$$

(六) 十年內避難者總數

將 10 年內避難次數乘以避難對象者數，以推算因實施治水工程致減少淹水地區避難對象者的數量。由於隨著「避難判斷水位」地點的不同，達到避難判斷水位的次數也不同，因此計算出各氾濫地區的避難者總數後，再取其總和。

$$\text{10 年內避難者總數} = \Sigma(\text{10 年避難次數}) \times (\text{該氾濫區域的避難對象數})^{18} \quad (4-121)$$

(七) 足供避難時間

從到達避難勸告發佈標準開始(避難判斷水位)，到具高度潰堤之虞(氾濫危險水位)時刻為止，足供進行實質避難行動或傳遞避難資訊的時間。即使因實施治水工程導致「氾濫危險水位」重新設定，然「避難判斷水位」亦可能因河川或流域之特性而保持不變。此類河川無法有效運用「10 年內避難次數」之指標加以評估，故另設「足供避難時間」指標。此外，雖期望災害時需援助者能在到達「避難判斷水位」之前即進行避難，但為簡化操作，可以「避難判斷水位」作為標準。

$$\text{足供避難之時間} = (\text{到達氾濫危險水位之時刻}) - (\text{到達避難判斷水位之時刻}) \quad (4-122)$$

二、醫療、福利設施之損害

(一) 台灣

¹⁸該氾濫區域的避難對象數為淹水區域內居住人口。

以洪泛區等影響範圍內之保全住戶全體乘上特定比率（可依不同地區建立參數系統進行估計），作為醫療需求的估計基準。

（二）日本

1. 醫療設施機能停止

災害發生時醫療設施一旦淹水，就無法維護必要的醫療體制。故作為地區據點的醫療設施一旦機能停止，造成的影響將更為嚴重。這類醫療設施包括：災害據點醫院、高度救命救急中心、救命救急中心、救急指定醫院等。此外，若因地區內僅有一間醫療設施等該地區的醫療情況，即使不屬於上述設施，仍可歸類為重要的地區據點醫療設施。將這些醫療設施，納入因淹水導致機能停止的設施。

有鑑於淹水深度達 50 公分以上，徒步移動會變得困難，人與物皆難以前往醫療設施，因此將醫療設施機能喪失之淹水深度設為 50 公分以上。然亦須留意醫療設施雖淹水深度較淺，然可能因維生管線機能停止，而對醫療造成阻礙之情況¹⁹。

2. 因醫療設施機能停止受影響之住院患者數

可應用淹水醫院之使用病床數、病床使用率，推算因淹水導致機能停止之醫療設施的住院患者數。

$$\text{住院患者數} = U \times [(B_h \times N_h) + (B_c \times N_c)] \quad (4-123)$$

U：病床使用率

B_h：該二次醫療圈中一間醫院的病床數

N_h：因淹水導致機能停止之醫院數

B_c：該二次醫療圈中一間診所的病床數

N_c：因淹水導致機能停止之診所數

3. 因醫療設施機能停止而遭受影響的人工透析患者數

根據統計資料，全國約有 30 萬名人工透析患者，可說是接受定期治療時所必須的醫療設施因淹水而受災時會遭受重大影響之患者（包括求診、住院）的代表指標，故推算對其所產生之影響。

¹⁹ 淹水深度與醫療機能阻礙之關係：(1)30 公分汽車無法行駛、(2)50 公分徒步移動有困難、地板淹水、(3)70 公分電源插座因淹水停電(醫療用電子儀器等難以使用)。

$$\text{人工透析患者數} = D_h \times N_h + D_c \times N_c \quad (4-124)$$

D_h ：該都道府縣一間醫院的透析患者數

N_h ：因淹水導致機能停止醫院數

D_c ：該都道府縣一間診所的透析患者數

N_c ：因淹水導致機能停止診所數

4. 淹水深度到達須避難水深之社會福利設施

由於難以自主性移動，或是難以認識危險性等主要原因，在避難時需特別考量(事前避難等)災害時，需援助者之集體居住設施，並納入對象設施中因淹水導致難以避難之社會福利設施²⁰。

5. 淹水深度達到必須避難水深之社會福利設施居住者數

$$\text{淹水深度到達必須避難水深之社會福利設施等居住者數} = \Sigma P \quad (4-125)$$

P ：因淹水而必須避難之社會福利設施居住者數、育幼院、幼稚園院童數

三、防災據點設施之損害

(一) 主要防災據點設施之機能停止

日本市町村公所、警察、消防等防災據點設施，除負責水災時水防活動或避難引導、救助、救命之緊急應變外，對於災後復原、復興活動也扮演重要功能。一旦這些防災據點設施機能停止，恐怕會對災害處理工作產生重大阻礙²¹。

四、交通中斷引致間接損害(二次災害)

(一) 道路

1. 主要道路中斷

依地區道路狀況及氾濫性質，其中斷造成之影響，包括：市區失去平面交通機能、幹線道路中斷造成大範圍影響、地區間重要聯絡道路受災等，需考量淹水路線對地區之重要性後挑選出。此外，考量淹水深度對於汽車通行產生之阻礙，可設定

²⁰ 挑出淹水深度到達必須避難之水深之社會福利設施，並加以記述；以避難時有必要特別考量之高齡者、身障者、嬰幼兒集居處、前往之社會福利設施為對象。具體對象為老人福利設施、身體障礙者設施、智能障礙者設施、更生設施、育幼院、幼稚園等。

²¹ 納入因淹水導致機能停止之市町村公所、警察、消防等防災據點設施；行政機能停止的淹水深度，設定為難以徒步移動的 50 公分以上。

為 30cm 以上²²。推估方式需納入淹水深度，會阻礙通行之區域主要道路路線名稱、區間。對於收費道路等，則須納入因淹水而無法使用之收費站名，若出現因收費站停止使用而無法通行的付費道路之區間亦應納入。

2. 因道路中斷受到影響之通行車數

$$\text{受道路中斷之影響的通行台數} = \Sigma[\text{中斷道路區間平日 24 小時交通量(車數)}]^{23} \quad (4-126)$$

3. 因交通中斷增加之旅行時間等

推算因道路中斷所增加之通行時間之經濟損失。首先須估計交通中斷區間之迂迴路線，推算因此增加之行駛時間總和。將因迂迴所造成行駛時間增加之總和(輛、分)，乘以時間價值(日圓/輛、分)即可換算為貨幣。由於氾濫後淹水深度不停變化，必須留意無法使用之道路變化。此外，除估計行駛時間增加總和外，亦需考慮設定代表某地區之出發及到達點，並記述兩點先前行駛時間之增加。除上述方式外，既有文獻資料亦有因迂迴致行駛時間增加所造成經濟損失的推算方式²⁴。

$$\text{增加行駛時間} = \Sigma(\text{迂迴路線所需行駛時間}) - (\text{受災前路線行駛時間}) \quad (4-127)$$

(二) 鐵路

1. 主要鐵路中斷

路線中只要有一處到達會阻礙行駛之淹水深度，即需考量其影響區間。受影響行駛區間設定，可參酌淹水路線之鐵路業者意見，並將阻礙鐵路行駛淹水深度設為 60cm 以上，惟具有連續性高架結構或堆高區間不受淹水之影響。推估方式需記述存

²² 淹水深度與汽車通行關係如下：10cm 轎車剎車效能低落；20cm 道路管理單位制定之地下道路無法通行基準；30cm 自治體公車停駛基準、轎車排氣管及變速器等浸水；60cm JAF 實驗中小客車、SUV 皆無法行駛。

²³ 交通量資料取自道路交通普查。

²⁴ 簡易估計方法：作為交通中斷時無法移動時的替代道路，以主要交通路線為對象假設迂迴路線。針對各迂迴路線，根據道路交通普查(交通量、旅行速度)，從交通量求出行駛時間差，推算出因迂迴所造成行駛時間增加之總和。將因迂迴所造成行駛時間增加之總和(輛、分)乘以時間價值原單位(日圓/輛、分)即可換算為貨幣(迂迴交通量不超過迂迴路線的容許交通量，因此僅適用於沒有發生交通阻塞之情況)；標準方式：利用道路工程評價所使用「費用便宜分析手冊」所述之交通量分配方法，根據每日平均交通量數據，求出各迂迴路線交通量。從各迂迴路線交通量(速度)求出行駛時間差，推算迂迴(每日平均)所造成時間增加之總和。將因迂迴所造成行駛時間增加之總和(輛、分)乘以時間價值原單位(日圓/輛、分)即可換算為貨幣。

在於淹水深度會阻礙行駛區域內之鐵路路線名稱、具有連續性高架或堆高結構時，須留意其高度²⁵。

2. 受鐵路中斷影響之使用者數

推算各淹水路線受鐵路中斷影響之使用者數。「淹水鐵路路線 1 日使用者數」採用大都市交通普查，若無法運用普查數據地區則依據鐵路業者意見設定。

$$\text{受鐵路中斷影響之使用者數} = \Sigma(\text{中斷之鐵路路線 1 日使用者數}) \quad (4-128)$$

五、維生管線機能停止所造成之間接損害

(一) 電力受損影響人口

電力無法使用之主因，為發電所或變電所等供應方設施淹水，及住宅或大樓等設施淹水。由於需求設施(插座、受變電設施)及最接近之供應設施開關(經由地下線路供電時，設置於路上用於控制電流「開」「閉」之設備)，只要在較低淹水深度(70cm)，就會造成功能停止，因此將這些設施因淹水造成機能停止情況設定為停電原因。

在供應方設施方面，即使發電廠至變電廠間供電網有一處設施功能停止，亦可由周圍供電系統進行支援。因此若要設定供應方設施功能停止時的影響範圍，必須耗費相當人力才能掌握整體全貌，且計算時必須設定複數條件，故不列為推算對象。

依據電力業者說法，民宅電源插座淹水時，保險絲會啟動將全部停電。此外，受變電設施、路上開閉器等配電系統淹水時，變電所保護繼電器啟動，由該配電系統所供電之地區暫時停電情況將由切換成遠距操作或當地作業等方式，停電範圍只會限定在淹水地區附近²⁶。

$$\text{淹水深度 70-100cm 影響人口} = \sum P \times (\alpha + (1 - \alpha) \times 1/f) \quad (4-129)$$

$$\text{淹水深度 100cm 以上影響人口} = \sum P \times \{\alpha + (1 - \alpha) \times (1/f + (1 - 1/f) \times \beta)\} \quad (4-130)$$

P：網格內人口（該淹水深度）

α ：相對於所有住宅之獨棟住宅・長條狀住宅的比例

²⁵ 淹水深度與鐵路行駛關係如下：0cm 淹水時水中含有土砂，有造成重點設備故障之虞、60cm 淹水深度高於鐵軌。

²⁶ 淹水深度 70-100cm 時，1 樓的電源插座淹水、停電；水深度 100cm 以上時：(1)無論地下或高架線路配電，地上的受變電設施受電皆停電；(2)由變電所經地下線路配電，屋頂的受變電設施受電者停電；(3)由高架線路配電，屋頂的受變電設施受電者僅一樓停電(一成的集合住宅皆採用此方式)。

f：集合住宅等的平均樓數

β ：淹水深度 100cm 以上整棟住宅停電之集合住宅等之比例

(二) 天然氣機能停止受影響人口

根據都市天然氣業者說法，都市天然氣供應設施中儲存槽和地下導管等，皆有防水構造。天然氣輸送經由加壓方式處理，亦不易受到停電或淹水影響。因此將著眼點放在設施中較容易受到淹水影響之「地區調速機」(調節輸送至需求者之天然氣壓力設備)及「瓦斯計」(可計算天然氣使用量，並附有當天然氣外洩、地震等緊急狀況下可自動切斷天然氣供應之安全裝置瓦斯表)進行推算。

地區調速機一台可涵蓋 2,000~3,000 戶，但掌握個別位置及涵蓋地區需要耗費龐大人力。因此假設地區調速機存在於各計算網格中，其涵蓋地區與計算網格相同，可推算各計算網格中因地區調速機淹水而受到影響之人口數。瓦斯計因淹水造成的影響，則需考量各網格中住宅為獨棟或集合住宅、樓層數等差異計算出受影響人口。

$$\text{都市天然氣淹水深度 100-200cm 影響人口} = \sum P \times (\alpha + (1-\alpha) \times 1/f) \quad (4-131)$$

$$\text{都市天然氣淹水深度 200cm 以上影響人口} = \sum P \quad (4-132)$$

$$\text{LP 天然氣淹水深度 140cm 以上影響人口} = \sum P \quad (4-133)$$

P：網格內人口（該淹水深度）

α ：相對於所有住宅之獨棟住宅・長條狀住宅的比例

f：集合住宅等的平均樓數

(三) 上水道機能停止影響人口

上水道功能停止可能主因包含：(1)因淹水導致淨水廠抽水幫浦故障，致上水道機能停止；(2)因停電導致集合住宅抽水幫浦停止而無法使用。因住宅可能同時受到(1)與(2)影響，故須各自計算淨水廠機能停止時的給水人口，與集合住宅停電時居住人口之網格計算受影響人口，以不重複計算方式算出總合。

在進行反映出功能停止之淨水廠給水範圍計算網格作業時，須聽取設施管理者意見。由於造成淨水廠功能停止之淹水深度，會隨有無淹水對策而產生極大差異，因此必須聽取各淨水廠管理者意見後進行設定。另身為供給設施之一的給水廠幫浦因淹水造成機能停止，也可能導致上水道供應困難。但給水廠功能停止時，可透過淨水廠幫浦壓力進行緊急性直接送水等應變措施，鎖定影響區域需花費龐大人力，因此不列入推算對象。以不重複方式算出(1)、(2)計算網格，求出總和。

(1)淨水廠機能停止影響人口=因淹水導致機能停止之淨水場給水區域內人口

$$(2)\text{淨水廠機能未停止時影響人口} = \sum P \times (1-\alpha) \times g \times \beta \quad (4-134)$$

P ：網格內人口（淹水深度 100cm 以上）

α ：相對於所有住宅之獨棟住宅・長條狀住宅的比例

g ：相對於總人口居住在 3 樓以上集合住宅之人口比例

β ：淹水深度 100cm 以上整棟住宅停電之集合住宅等比例

（四）下水道機能停止影響人口

當下水道處理場淹水時，各種設施機能將非常低落或喪失。但根據下水道業者說法，由於最後須將水排放到河川，除排水幫浦或設施內抽水幫浦之外功能，皆可透過放入藥劑等簡易消毒方式進行緊急處理。因此將幫浦機能停止，視為下水處理場功能停止。即使下水處理場機能未停止，若中繼幫浦場因淹水導致機能停止，也會造成此中繼幫浦場負責之集水區域內下水道無法使用。故須確認下水處理場及中繼幫浦場雙方機能是否停止。因此，下水道機能停止可能主因如下：

(1)因淹水導致下水處理場幫浦故障，造成機能停止；

(2)因淹水導致中繼幫浦場機能停止。

因住宅可能同時受到(1)、(2)影響，因此須分別算出(1)下水處理場，(2)中繼幫浦場之計算網格受影響人口，以不重複計算方式算出總合。在進行反映出功能停止之下水處理場、中繼幫浦場集水範圍計算網格作業時，須聽取設施管理者意見。許多下水處理場設置在低處，有鑑於近年來淹水災害，許多皆採取淹水相關對策。故須聽取各設施管理者意見，確認設施地面高度及有無淹水對策後，再設定會造成機能停止之淹水深度。若確認並未實施淹水對策時，考量到進物口的門或路面上的換氣口會進水，導致大多設置於下水處理場中最低處幫浦及相關設施機能停止，根據廢水管理機構向下水道業者聽取意見結果，將 20cm 以上設為機能停止之淹水深度。

以不重複的方式算出(1)、(2)計算網格，求出總和。

(1)下水處理場機能停止時

$$\text{影響人口} = \text{無法排水之下水處理廠集水區域內人口} \quad (4-135)$$

(2)中繼幫浦場機能停止時

$$\text{影響人口} = \text{無法排水之中繼幫浦場集水區域內人口} \quad (4-136)$$

（五）通訊機能停止影響人口

通訊設施機能停止之原因包括供應方設施淹水，以及需求方設施淹水等。由於內有交換機等設備之通訊建物等供應方設施各自都有採取淹水、停電對策，因需全面調查淹水深度對於其服務供應之影響需要耗費龐大人力，且由於需求方設施在較低淹水深度（70cm）機能即停止，故將需求方淹水視為通訊機能停止原因進行推算。

$$\text{淹水深度 70~100cm 影響人口} = \sum P[\alpha + (1 - \alpha)] \times 1 \div f \quad (4-137)$$

$$\text{淹水深度 100cm 以上影響人口} = \sum P \quad (4-138)$$

P：網格內人口（淹水深度 100cm 以上）

α ：相對於所有住宅之獨棟住宅・長條狀住宅的比例

f：集合住宅之平均樓層數

六、經濟受害區域內、外之波及受害

（一）運用產業相關分析等經濟模型之經濟波及受害額

生產函數乃表示勞力(L)、資本(K)等生產要素之投入量及隨之所得的生產量(Y)之間技術性關係的函數，Cobb-Douglas 型生產函數 $Y = A * L^{\alpha} * K^{\beta}$ 為一般性的生產函數。Y 為生產量、L 為勞力投入量、K 為資本投入量；A、 α 、 β 為定數， α 表示勞力分配率、 β 表示資本分配率($\alpha + \beta = 1$)。水災造成之營業所的直接損害(生產設備之損傷)，會造成生產額減少(區域內生產額之減少)，故可將其減少之生產額，應用生產函數計算損失。

將生產額減少視為災區最終需求之減少，將區域內外之波及所造成之生產額減少運用產業關聯表分析，進行推算(一次波及)。需要考量到二次波及效果時，生產額的減少會造成受雇者所得減少、消費減少(最終需求)，可藉此推算出對於區域內外之波及所造成之生產額減少的量。

透過產業相關表可觀察出財物、服務等各產業生產結構、銷售結構，用以掌握經濟結構、計算生產波及效果。全國、地區間、都道府縣等地區等級之產業相關表是否適用其推算方式的設定方面，可參考既有文獻，判斷災區與其他區域間社會經濟方面的關聯、受害規模等。生產額減少期間(復原期間)設定方面，因受害規模不同而有極大差異，因此參考過去水災中受害規模相似之事例，適當地進行設定。

（二）具有高市佔率企業受災對補給鏈所帶來的影響

因水災造成具高市佔率之企業受害時，可能對補給鏈造成極大影響。根據聽取自治體經驗之產業部、局及業界團體之意見，可納入設立於淹水區域內具高市佔率之企業，推測其淹水之可能性。此外，考量徒步移動困難之情況下，難以進行人、物之運輸，因此將會造成生產活動困難之淹水深度設定為 50cm 以上。

七、地下空間

（一）地下鐵

1. 地下鐵路線之淹水

地下鐵淹水可能會直接造成避難時間延誤等人命傷亡。此外，因其淹水擴大路徑與地面上不同，且排水需要耗費極大人力，可能造成長期性的影響。由於一旦地

下鐵內淹水，氾濫水勢可能會透過內部的地下隧道造成淹水區域擴大，因此參考既有之文獻，針對設施的分類或構造、與地面上的連接狀況等進行確認，推算出淹水路線。此外，因地下鐵業者大多制定淹水對策，因此地下鐵開始淹水的淹水深度參考下列進行個別設定。

推算方式，需挑出淹水區域中具有出入口或換氣口之地下鐵路線，透過詢問地下鐵管理者等方式，確認地下鐵出入口的地勢高度及淹水對策，並檢討其淹水的可能性。若預測有淹水之可能時，計算出地下淹水區域擴大等情況，推算淹水之路線名稱、站名等。

2. 受地下鐵淹水之影響使用者數

由於地下鐵淹水可能造成人命傷亡，且復原需要耗費長時間，因此須掌握受其影響之各地下鐵路線的使用者人數，加以總計並進行推算。

$$\text{受影響之使用者數} = \sum (\text{淹水之地下鐵每日使用者人數}) \quad (4-139)$$

(二) 地下設施

1. 淹水之地下設施

與地下鐵相同，地下設施淹水也可能會直接造成避難時間延誤等人命傷亡。此外，其淹水擴大路徑與地面上不同，且排水需要耗費極大人力，故可能造成長期性的影響。由於地下空間多是以複雜方式連接其他地下設施或地下鐵、周邊商業大樓之地下設備等。現在未使用的地下空間，亦可能通往其他地下設施。大樓電氣設施大多設置在地下，若地下淹水，可能會造成周圍一帶大樓停電、都市機能癱瘓。雖然調查地下設施需耗費極大人力，仍需要盡可能掌握。

推算方式需挑出淹水區域中具有出入口或換氣口之地下設施，透過詢問地下設施管理者等方式，考量到出入口的地勢高度及淹水對策，檢討其淹水可能性。若預測有淹水之可能性時，計算出氾濫水勢擴大等情況，針對淹水之地下設施的名稱或影響等加以記述。由於透過地下空間，亦可能造成大樓之地下設備淹水。因此須檢討其可能性，並針對會受到地下空間淹水影響之大樓群區域加以記述。

2. 受地下設施淹水之影響的使用者數

透過詢問地下設施管理者等方式，掌握各淹水之地下設施的使用者人數，加以總計並進行推算。

$$\text{受影響之使用者數} = \sum (\text{淹水之地下設施每日使用者人數}) \quad (4-140)$$

八、文化財產

推算造成損害之淹水深度、淹水之文化財產的種類以及數量。考量屆時是否可能進行移動，個別設定造成影響之淹水深度。推算方式需針對淹水區域內文化設施、文化財產進行淹水時的脆弱度、移動可能性進行詳細的調查，對於破損或毀壞所造成之影響較大的情況，製作、記載假設性的劇本。

九、水災廢棄物的產生

由於水災廢棄物在地面淹水時會大量產生，因此僅以地面淹水建築物做為對象加以推算。

$$\text{水災廢棄物產生量} = X \times W \quad (4-141)$$

X：地面淹水建築物數量、W：產生原單位²⁷

²⁷ 使用過去災害時所產生之廢棄物量所推算出之原單位範圍很廣，以地面淹水(淹水深度 50cm 以上)之民宅、辦公室所計算出之原單位 3.79 t/棟為原單位。然而，考量到淹水的流速及水深等受災型態之不同，今後必須致力於掌握實際型況，以檢討出適切的數值。

第五章 防災空間系統規劃

本章分析內容，主要歸納與說明多重災害防災空間與設施規劃與配置之方法，及規劃與配置主要準則。以下即分就防災空間系統規劃原則，及防救災設施規劃、配置方法與內容說明之。

第一節 防救災空間系統規劃原則

台灣都市與都會地區的高密度發展，隱含龐大的都市開發利益與社會資本集中在這些地區，亦隱含這些地區可能暴露在高脆弱與高災害風險的環境中(Adger, 2006)。目前的都市計畫相關法令中，針對都市防災的推動，缺乏從地區發展特性與災害對都市發展衝擊的角度，提出以風險為基礎(risk-based)的防減災土地使用規劃策略，造成土地使用風險管理的困難(何明錦、洪鴻智，2004)。

Nelson and French(2002)從美國 Northridge 地震的經驗，發現高品質的土地使用規劃，確實可以有效降低地震損失。然地方政府欲透過都市計畫或土地使用管制工具推動防減災工作並非易事。因欲成功推動減災土地使用政策，需具備下列條件(May, 1996; Comerio, 2004)：(1)停止對高風險土地使用行為的財政或公共設施的補貼；(2)地方政府需更有彈性及有能力，決定未來適合的土地開發模式(目標)；(3)需持續強化減災與災害風險的知識與相關政策的落實。這些事項並非單純的土地使用管制策略即可達成，而需清楚都市發展過程隱含的災害風險特性、分布與其可能的時空變遷，以及提出可行的相關災害風險管理配套措施。

Olshansky(2001)觀察美國洛杉磯郡，1971-1994 年間的地震防災經驗，發現單純提供地震災害資訊，對於地方土地使用政策的推動並無太大幫助。問題的真正關鍵在於災害資訊提供後，是否有相關的風險管理政策。地方政府在執行這些風險管理措施，地震災害資訊提供的內涵，即需明確指出不同地區災害風險與災害潛勢的相對關係與位置，及這些資訊的可能變遷(Hung and Chen, 2007)。故有效的應用災害風險資訊，及整合於土地使用或空間規劃過程，成為都市防災規劃的基礎工作。

聯合國國際減災策略 (International Strategy for Disaster Reduction; ISDR) 為大幅降低災害產生的影響和減少風險因子之發展政策與計畫，訂定為期十年(2005-2015 年)五個「兵庫行動綱領 (Hyogo Framework for Action; HFA)」計畫。

將實施指導和指標計畫運用原則分為三大部份，首先介紹整體解決方法與相關策略、制度；接著提出準備計畫中需注意之關鍵要件；最後則說明緊急應變所需事項，如圖 5-1 所示(UN/ISDR & UN/OCHA, 2008)。此外，於三大原則下再分別以政府、公民社會、區域組織與國際參與者等四種立場探討災害應變指標應用方法²⁸。

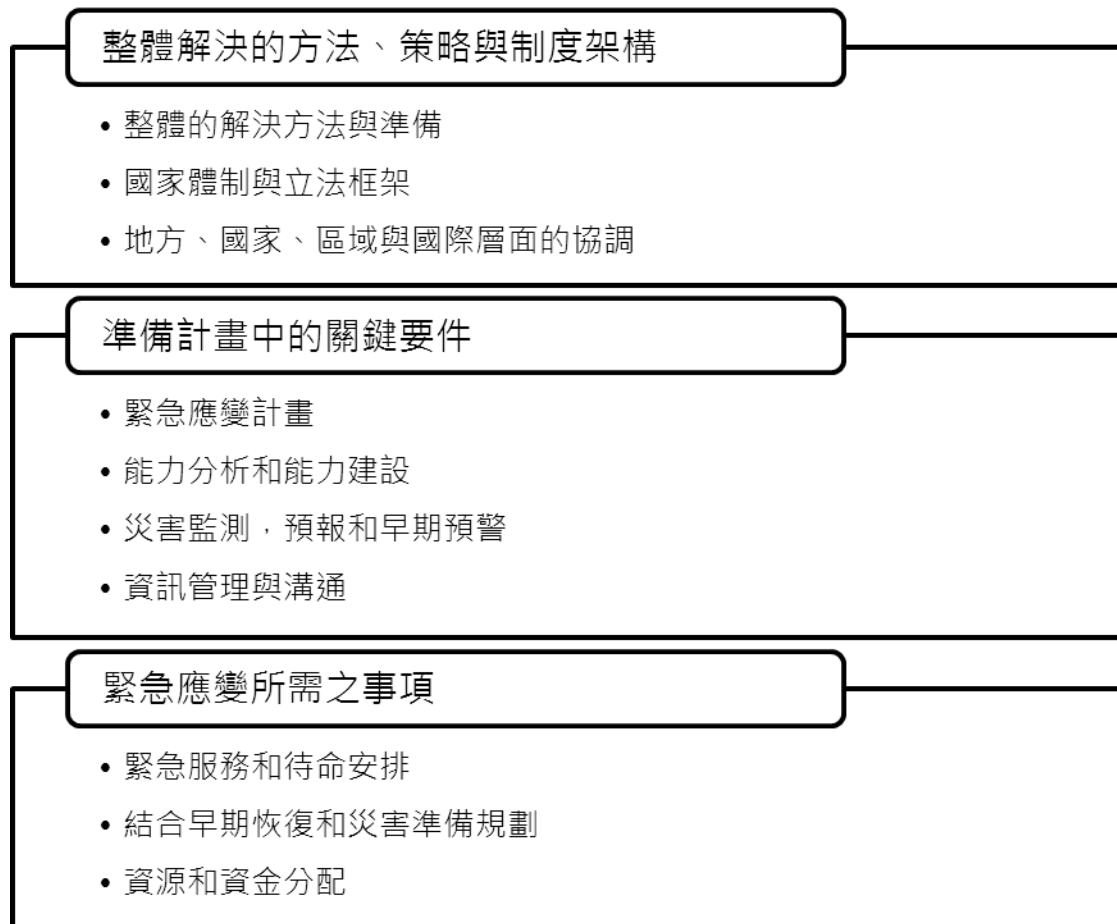


圖 5-1 Hyogo 架構計畫的三大原則與指標

資料來源：本研究繪製

一、原則一：整體解決的方法、策略與制度架構

在此原則下期望達到各相關機構相互協調，建立全面性方法降低災害產生之風險。

(一) 整體的解決方法、策略與制度架構準備

²⁸ HFA 提出之三大原則與四種立場，因研究範圍所限，在本研究無法全部應用或深入討論。故研究中，較偏重「準備計畫中的關鍵要件」與「緊急應變所需之事項」兩項原則，及從政府立場討論為主。

經由國家立法核准，制定與更新詳細的災害準備、反應、恢復、責任與籌資機制後，透過適當的管道與媒體廣為宣傳，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：評估參與之各級單位，建立全國或地方平台以促進訊息之溝通、資源分配協調。
2. 公民社會：公民社會和社區成員積極參與備災活動，並監測、評估與協助潛在的弱勢群體。
3. 區域組織：區域機構推廣優良做法和經驗教訓，並提供技術支持各成員國在制定減少災害風險策略的預期結果
4. 國際參與者：共享全球防災經驗。

HFA 的強調整體方法的重要性，且需要一個連接國際、區域，甚至社區一級的全面性措施來減少災害風險，由於社區本身不僅是災害的第一反應單位，更是降低風險的核心地區，因此，國家的防災能力是否健全，關鍵在於加強和提高在社區層面的能力。

(二) 國家體制與立法架構

已核准的國家法律架構必須廣泛宣傳和執行，且應詳述備災、反應與恢復責任等內容，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：核准相關災害立法架構，規範備災、救災和恢復之職責與籌資機制的詳細制定與更新。
2. 公民社會：以地方組織和社區參與發展的法律架構、規章制度和政策為職責基底。
3. 區域組織：各國在立法架構的發展提供技術支持，協調區域政策，地方協議應變工作程序。
4. 國際參與者：評估和有效的體制架構發展，提供技術支援各國家和區域組織，制定政策和程序，以便在緊急情況下可納入國際援助。

一個國家的災害準備計畫應明確界定「體制」，明確實現「架構」，闡明橫向(各部門之間)和縱向(國家、地方和機關之間)的聯繫，確實指定體制下所安排的元素，包含：

1. 組成：政府與非政府機構負責災難整備，各級單位職權範圍與工作計畫。
2. 角色和責任：各級單位協調運作方式與必要之備災建設能力整合。

3. 流程、協議與跨部門協調：藉由適當的安排，使不同職責之實體部門、組織間的協調和溝通一致。
4. 其他援助：相關議定書內容有關外部援助的請求和接收非政府組織(NGO)的援助，包含：私人捐贈、國際或區域的援助，針對其事先同意與批准的規則及程序。

並且，針對軍民關係也必須加強能力決策與預警傳播，可透過國家立法機關所制定的架構，明確建立分散機制、鼓勵社會民眾參與、確定防備所需的資金和其他資源。另由於許多災害為跨境災害，故區域和國際機構架構的關係亦顯得十分重要，政府在建立立法架構時，需加強與發展適用於災害之國際法準則。

(三) 地方、國家、區域與國際層面的協調

運作良好之災害協調機制須具有明確的政策和程序，且所有成員都清楚自己的角色和責任，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：政府內部的協調機制完備，並在災害準備期間扮演連接各機構部門之角色。
2. 公民社會：公民社會的參與和支持影響各級單位防災協調之發展。透過民間社會參與，可促進國際間訊息交流、經驗傳承。
3. 區域組織：區域協調機制匯集各會員國災害重點區域，事先建立可適用於類似情況下之區域和區域間的災害應變對策。
4. 國際參與者：對防範區域和全球協調機制的發展提供技術與其他資源支持。

一個有效的備災能力的重點，是可透過不同的參與者、實體協調與及時運作，避免時間差和工作重疊，廣泛運用潛在利害相關者。使其在災害準備期間提供緊急援助，藉由軍隊，非政府機構，公用事業公司和私營部門實體間的嫻熟配合，確保明確的中央聯絡站和協調的位置。此外，各國政府應考慮與災害有關的問題，以及與工作區域組織密切協調。

二、原則二：準備計畫中的關鍵要件

旨在建立一個常設的能力，以應對各種不同的情況，其會深入影響國家或地區在制訂一套廣泛的防備措施，例如：早期預警系統、持續的風險和脆弱性評估、能力建設、創造和維護備用能力與救援物資的儲備等，健全的防備計畫有助於提高準備狀態，維護生命與生計。

(一) 緊急應變計畫

緊急應變計畫，應包括深入分析災害風險、脆弱性和能力制定等，且須定期更新，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：以各部門針對多種災害評估和風險分析為基礎。包含：a.準備、b.分析、c.反應、d.實施(鞏固的過程和後續行動)等四步驟。
2. 公民社會：指公民社會參與開發、測試與災難緊急應變預案的實施。
3. 區域組織：提供國家中災難緊急應變計畫的技術發展和其他支援。
4. 國際參與者：制定緊急應變計畫提供國家和區域組織技術或其他支持。

(二) 能力分析和能力建設

所有組織、配備人員和志願者負責維護與準備有效的防災和救災培訓，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：在國家，區域和地方各級制定適當且持續的培訓計畫，如：模擬演習等，實施明確、可衡量的行動來鞏固備災能力，並加強和維護各部門與各機構間的能力。
2. 公民社會：評估公民社會中利益相關者參與的過程，可向會員國或其他利益相關的區域組織提供培訓教材與課程，以提高區域的備災和救災能力。
3. 區域組織：自我評估區域內的能力，以支持國家和災害管理的參與者，並確定優先行動和解決可能存在之差距。
4. 國際參與者：收集、分享其他國家之良好個案研究經驗。

此外，應審慎評估各個層次的現有資源、能力、業務計畫以及通訊和協調系統，找出不足與改善之處，制定相對應的計畫。在大多數的緊急情況階段，最好是由一個跨學科的團隊進行能力、行政和組織的評估，並且運用足夠的資源完成任務。同時，緊急應變活動要進行評估時必須考慮到以下四個要素：

1. 參考現有機構的運營設施與備災的職責；
2. 採訪國家、區域、部門和地方一級系統等與各領域有關者，並參觀極脆弱的地區；
3. 觀察模擬和模擬演習，對正式文件的研究和分析；
4. 災害歷史回顧，參與災害準備和待命安排有關的會議。

(三) 災害監測，預報和早期預警

期望建立對國家或地區有幫助之預警系統，適用於可靠的科學訊息和風險知識，透過溝通警告所有風險存在的社區全體的行動，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：國家透過立法明確指出由哪些機構負責傳播危險的警告於公眾。
2. 公民社會：社區和其他社會利益相關者參與預警系統的開發、經營、培訓和測試等各個階段，早期預警系統特別強調健全的社區能力以確保對通訊系統的工作和對預警消息的了解。
3. 區域組織：提供訊息和諮詢服務，並開發潛在且廣泛的跨境災害區域預警和傳播系統
4. 國際參與者：制定和發布預警的標準與指南，並且提供技術、組織和政策制定方面的支持與諮詢。

須發展和強化在社區層面的預警指標，另因氣候變化影響災害的脆弱性，故亦需與科技界進行密切交流，影響部份涉及資料共享改善、空間和風險的地球觀測、氣候模擬和預報、加強預警系統等，這些都有助於增強早期預警的能力。而傳播系統也應根據各個社區需求，如：廣播或電視、警報器或警示標誌、市中心區或偏遠地區等，甚至是針對不同文化、社會、性別、語言和教育背景等具體需求調整行動，並且重要的是必須盡量減少誤報的數量，以保持預警系統的穩定度。

(四) 資訊管理與溝通

開發和維護一個訊息管理和傳播系統，有利於相關技術和管理的內、外部利益相關者之間的訊息雙向交流，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：全面的收集、彙編與傳播與防災相關之知識訊息，再透過國家或地方區域等各級全力協調，並定期安排各級單位資訊交流。
2. 公民社會：透過大眾媒體的宣傳、私部門積極參與來提高社會民眾對於災害危險的認識與防災方法。
3. 區域組織：參與災害管理的國家一級單位和非政府機構之間的構想和技術訊息的交流。
4. 國際參與者：提供技術支持區域和國家行動以便落實適當的能力建設計畫。

不僅在預警期間，在整個災難發生的過程中，公共訊息和資料的管理非常重要。在緊急情況下，應將公共訊息廣播的責任分配給一個特定的部門或團隊，以

傳遞正確無誤的訊息；此外，也應制定明確的財務數據與追蹤管理系統，可透過建立災害風險的數據存儲系統方便統計作業，並定期維護與更新。

三、原則三：緊急應變所需之事項

加強緊急應變準備工作，主要關注於兩個目標：(1)加強預測和監測以減少可能造成的損害或潛在的威脅，(2)加強準備應對災難以及協助避免受到不利之影響。

(一) 緊急服務和待命安排

涉及多方利益相關者的反應機制，可透過法律規定分配資源、開發和測試緊急應變計畫的基礎，使其能在有限的時間內進行有效的行動。各單位應建立之指標如下：

1. 政府：利用國家備災能力，達到賑災所需最低標準，亦可藉此測試災害損失評估機制是否完善，並透過具體活動，如模擬、演習等提高緊急反應的能力。
2. 公民社會：使在其職責範圍內的人員或志願者接受培訓，並足夠應對地方一級所需人力。
3. 區域組織：藉由各國的支持確保立法和緊急應變機制，以及適用於緊急的情況，可以透過跨境合作協議達成目的。
4. 國際參與者：在緊急應變時支持各國適用的國際法和遵守 Sphere²⁹標準，並用適當的機制協調資金的外部反應和內部申訴。

另備用能力應包括監控系統、人力、物力與後勤資源；緊急應變規劃過程中亦應清楚地總結現有的待命安排，並透過模擬演習和定期測試和更新累積經驗教訓。而災難應變指揮中心(Emergency Operations Center)是一個重要的防備措施，其在緊急情況或災難發生時提供了三個關鍵活動：(1)進行各機構合作協調，(2)制定決策，和(3)管理訊息。在多數情況下，災害事件的發生的 24 至 48 小時內所產生的損失最為劇烈。因此中央災難應變指揮中心，在災前建立救援活動的基礎，及培訓災民的基本急救方法就顯得十分重要。如能在災難發生的第一時間進行搜索與救援，就可大幅降低災害產生之威脅。

(二) 結合早期恢復和災害準備規劃

早期復原活動，應考慮和應用在應急基金和其他準備工作的規劃過程，各單

²⁹ Sphere 計畫，於 1997 年由非政府組織紅十字會與紅新月組織所訂定之一套在廣泛合作的過程中表達責任制的標準行動，《Disaster Preparedness for Effective Response》。

位應建立之指標如下：

1. 政府：在準備能力建設方面主要諮詢早期恢復的利害相關者，亦需預先考慮到在災害準備和救災過程中的資金分配。
2. 公民社會：公民社會組織和社會團體是參與防備計畫與實施策略的重要元素。
3. 區域組織：在早期恢復階段，技術進步和其他支持被提供給各國和其他利益相關者。
4. 國際參與者：提供區域組織或國家技術諮詢和災後回復策略發展服務。

在發展防災能力的過程中，經驗累積尤其重要，成功的早期恢復規劃需要廣泛的相關政府部門和其他潛在相關部門的參與，包括財政、基礎設施部門與建築協會等。

(三) 資源和資金分配

政府應有詳細財政儲備與應急資金機制，以支持有效的災害準備、救災活動，各單位應建立之指標如下：

1. 政府：備災活動的預算分配是災害管理制度化的一部份，定期報告可檢視公共資源系統的發展能力，並透過與他國簽署協定對等契約獲得資金和技術援助。
2. 公民社會：設立基金組織，以加強社會利益相關者的能力和活動，並根據其規範的責任進行備災活動。
3. 區域組織：在跨境活動的情況下適當的啟動的聯合資助機制，包括適當的政策、協議和程序等。
4. 國際參與者：提供支持給國家、區域組織和民間社會的利益相關者，以保障所需要的資金足夠實施備災、應變和恢復計畫。

運作良好的災害管理系統，須有足夠的資金與資源的規劃，國家制定法律架構時應包括預算分配、籌資機制建立、風險管理和災害管理等。此外，法律應清楚說明緊急情況發生後，地方和國家兩級單位對於救災資金的分配制度，藉由已備妥之適當立法和政策，促進外部資金的進入和管理，確保資金有效地移轉且運用至地方各級。另其也強調公共部門和私營部門的合作夥伴關係，及可透過改善財政調解機制來分擔系統重組風險。

惟空間規劃必須考慮空間中所有關於自然的災害，且不能只注重於其中一個或兩個災害，必須採取多種災害的方法，以便妥善處理與空間環境的風險和危害(Greiving, 2006)；歐盟新空間規劃標準的發展，關鍵問題在思考區域規劃和土地利用規劃以預防自然風險，包含：在規劃過程中加以考慮災害風險地圖、統計數據、災害報告或風險資料的來源，在地方和區域主管部門於城市發展的同時考慮風險房屋的位置、新的基礎設施、公共設施和工業和商業區；並參考(1)規劃系統的主要特徵；(2)所有規劃層級(包含從國家到地方)對自然災害的處理方法；(3)最佳和最差的實行案例，以便後續之規劃修正方案。

未來的土地利用變化由私人發展商或住戶基於空間規劃的分區指定來實現，因此整合脆弱性相關資訊是不可或缺的一種綜合概念。除了在地方一級單位，需要更詳細的災害評估外，也需根據土地使用分區籌備土地總體規劃，並確定危險的強度與區域，再劃分危險地區或易發生災害區。由於災害地圖通常是所有不同類型災害地圖的總和，因此必須考慮在特定區域內各災害之間的相互作用和累積效應，以避免產生更嚴重的危害(Greiving et al., 2006)。

李威儀等人(1997)曾參酌日本東京地域防災計畫模式，為台北市研擬都市計畫防災系統，以防災避難圈為基本單元，擬定救災與避難網路與防災據點組成之空間實質規劃系統。台北市政府亦於民國 2002 年開始擬定地區災害防救計畫³⁰，內容包含颱風、洪水、坡地、地震與其他類型災害之防救。計畫共包含地區災害特性，災害境況模擬，災害潛勢，減災、整備、應變計畫與復建計畫，計畫經費與執行成效評估機制六個部分(台北市政府，2002；2005)。每一個子計畫，主要在訂定災害防救計畫須涵蓋之內容與計畫準則。雖然計畫內涵已擴及災害防救的供給、需求、管理與組織體系，但如能再增強配套之空間防救災系統之功能與土地使用規劃的整合，將更能強化實務執行上的效能。

日本東京都世田谷區防災會議於 2000 年修正的新版「世田谷區地域防災計畫」，內容包含各種災害之預防計畫、應急對策計畫、復舊計畫、復興計畫、課題計畫與個別計畫，其規劃方式除傳統日本都會區強調的防災生活圈空間實質規劃模式外，尚強調各類災害防救計畫擬定前的基本調查、風險與易致災性分析，及各種包含土地使用計畫在內的非工程災害防救措施的應用(日本東京都世田谷

³⁰ 台北市地區災害防救計畫於 2005 年有新修定版(網址：http://tdprc2.tfd.gov.tw/TaipeiCityEms1_public/org3.html)。

區防災會議，2000)。特別是計畫中，提出風險分析與土地使用計畫的整合，實為災害防救空間規劃的基礎。

回顧國內 1990 年代以來，地區災害防救計畫之研究與擬定，多偏重在空間實質規劃與供給系統（整備）的設計。但在缺乏有效的災害風險與易致災性分析工具支援下，如何妥善擬定實質土地使用計畫，以滿足不同地區的災害特性需求，常於傳統都市防災空間系統規劃工作中被忽略（洪鴻智、詹士樑，2001；蔡柏全等人，2002；陳亮全等人，2003）。建研所晚期關於都市防災空間系統的示範區計畫，已納入風險分析的概念。特別是從災害風險管理的向度，提出如何在面對不確定的情境下，進行風險免除、降低、轉移與分攤的風險管理策略（洪鴻智，1998；何明錦、洪鴻智，2002；陳建忠、洪鴻智，2003；何明錦、洪鴻智，2004；陳建忠、洪鴻智，2005）。使防災空間系統規劃的向度，能納入災害風險與易致災性分析的決策支援工具，系統性的分析規劃區災害風險情境與防救災資源需求的估計成果，而有助於提昇都市與空間規劃資源配置的效率。

第二節 防救災設施規劃與配置準則

壹、多重災害避難空間需求及區位需求

一、防救災與避難特性

許明禎、林晏州(2001)研究結果發現避難據點之區位配置，多經由專家學者由人口服務半徑水準、基地特性及周遭環境特性進行推估其配置之合理性。李泳龍等(2007)以居民觀點，配合居民問卷調查，瞭解影響居民避難行為的原因，並利用羅吉斯迴歸模型，分析居民地震防災避難行為特性，綜合影響居民遇到地震災害時採取避難行為之顯著性因素，並據以檢討地震防災空間系統改善的方法。這些研究提出可行的防救災與避難特性的相關分析，可供避難與庇護相關設施規劃的參考。

洪鴻智、詹士樑(2001)引用問卷抽樣調查資料，以 logit 與 probit 模型估計與分析影響避難處所與路徑選擇的因素；2. 引用土地使用現況調查資料，利用效用理論與風險分析模型，分別針對避難路網有效性與救災效率路徑進行境況模擬。在影響避難處所的影響分析結果發現安全、就近與空曠為主要選擇準則，路徑選擇則以有效寬度為考慮要項。另在影響是否出外避難因素的模型估計結果，發現白天與黑夜的避難認知的影響因素不盡相同，同時與 921 地震實際的避難行為間亦有差異。

日本於 311 東日本震災後，積極開發海嘯疏散模型，考量因素包含：(1)空間屬性，如年齡、步行速度、障礙、防災意識等；(2)道路阻塞率；(3)疏散行為模式，進行綜合性防災策略評估³¹。另亦針對海嘯災害檢討情報提供與疏散的相關性，如何有效結合海嘯警報與海嘯防災地圖，並快速提供可靠且易於辨別之訊息，瞭解警報發佈後避難行為與否及其考量因素與原因³²。

再者後從地震發生到開始避難時間，平均生還者約 19 分鐘、往生者約 21 分鐘；地震後立刻避難者僅佔 28%，多數人都是於發佈海嘯警報後才開始避難。未採取避難者，多數認為所處位置安全或從過去經驗判斷受海嘯侵襲率低。死亡者多數因為避難路徑受阻，或因抵達避難場所後又折返尋找家人後罹難。所以災

³¹ 防災対策評価のための津波避難行動モデルの開発，
http://mas.kke.co.jp/output/report_tokushimadai_kwatanabe070531.pdf。

³² 情報と避難行動の関係-内閣府防災情報のページ，
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_tsunami/5/4.pdf。

害發生時的避難工作，軟體層面上的處理也非常重要，除資訊傳遞與避難體制以外，防災教育、啟發等也具有極大的效果。

二、避難圈域的劃設方法與標準

關於避難圈域的劃設方法與標準，主要仍從供給面出發，可納入地形、行政與需求因素進行考慮。其中以圓型模式，為主要的劃設方法。例如，社區型服務半徑約為 500-600 公尺，服務人口數約在 2,000 人以下。地區型服務半徑約為 2 公里以內，服務人口數在 10,000 人以下(黃志弘，2000；張國松，2005；蔡綽芳，2002)。較符合實際的劃設方式，則另需考慮地形、環境及城鎮發展影響，以偏心圓的方式呈現。另亦有引用「中地理論」來說明防災生活圈的層級體系，透過都市防災生活圈及經由地理資訊系統技術及 Surface modeling，結合疊圖及路網分析法的規劃理念，而主張避難圈域需考慮不同空間的服務層級(李泳龍等人，2009)。

李威儀、丁育群(2003)則進一步指出，為符合各地區的特性，防災避難圈劃設需考量的因素包含：(1)考量與行政村、里界的配合；(2)以國中、小的分布與服務半徑為劃設基準(350~600m)；(3)圈域內人口數(居住與活動密集程度)維持 25,000~40,000 人；(4)圈域內避難路徑距離(300~500m)；(5)圈域內避難步行時間(5~10 分鐘，若換算成步行距離 1.2m/秒，約 360~720m)；(6)其他防救災資源(救護車、消防車、警車、救生艇、直昇機、其他救援救護工具等)的可及性(3~5 分鐘抵達，若換算成災時步行距離 1.2m/秒，約 216~360m)。

日本將避難圈域劃分為廣域避難與緊急避難，以水災為例，廣域避難在無法掌握氾濫實際狀況下，有效方法為將淹水假定為區外避難，且對於超越市町村界線進行的廣域避難可能性亦應考慮。避難計畫須以臨近市町村淹水狀況出發，並與鄰近地區共同規劃廣域避難計畫(廣域洪水災害地圖)。此過程需與鄰近市町村協議，於災害地圖上記載鄰近市町村避難場所。廣域避難需考慮事項如下：(1)淹水範圍為複數市町村之廣大區域，此時相關市町村合作為必要條件；(2)市町村大部分地區淹水、市町村內適當避難場所不足；(3)市町村因河川被切成數個場所，洪水時無法橫越河川，在同一市町村內避難成為困難時；(4)市町村區域內無法確保鄰近避難場所較有利時；(5)只要符合上述任一項，因以廣域避難計畫為前提檢討廣域洪水災害地圖之製作。其中市町村間情報共享尤其重要，為能順利執行服務，須提供符合市町村於鄰近市町村避難者的相關情報，切勿讓行政服務在不足情況下提供。

緊急避難無法掌握氾濫實際狀況的避難及洪水發生時，可應用假設的流速及水深的避難行動。在假定的淹水深度以上的場所，須確保有堅固建築物的民間設施及提防、道路等緊急避難設施。另外，當無法確保充足避難時間與淹水深度時，需從防止避難過程事故發生為出發，除於計畫之避難場所進行避難外，需教導民眾判斷形勢(避難心得傳承)，進行居家垂直避難或至鄰近安全建物內避難。此時於洪水災害地圖中，需記載民間設施之設施管理者，於事前因應地域實際情況以簽訂交換協議書方式，進行內容確認與調整。關於民間設施等被指定成一時避難場所之協議、交涉，除以市町村為主體外，亦可以地區居民直接與締結條約市町村簽訂³³。

三、據點選定

Amini Hosseini et al. (2009) 曾以伊朗重大天然災害緊急應變為例，規劃城市災害緊急避難與相關設施配置之方針，有關緊急應變步驟與方法，包含：成立緊急應變中心、建立檢及醫療系統、建置緊急救災與避難道路系統，與疏散避難系統（參見圖 5-2）。以下針對上述之四大步驟分別說明：

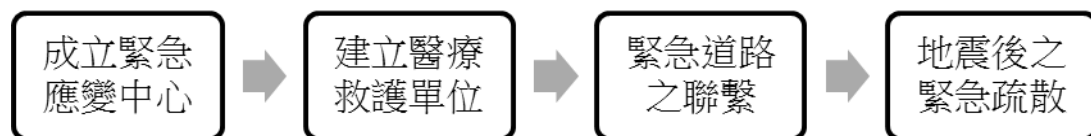


圖 5-2 緊急應變之步驟

資料來源：本研究整理

（一）成立緊急應變中心

易發生地震區域應在地震前由專家組成團隊，成立緊急應變中心(Emergency Operation Centres ,EOCs)，並培訓人民自救的能力。首先要建立緊急應變中心設置的實質準則(如表 5-1)，並且避免將該中心設置於災害發生潛在地，此外，提供緊急應變之車輛也應停放在無潛在地震發生之安全地方。

緊急應變中心位置之選擇應鄰近適當寬度之緊急道路以滿足救援行動之要求。建議可在市中心之脆弱區域設置開放空間，作為地震來襲時之緊急應變中心指揮部，其主要功能為在災害發生後協調地方應變與提供受害者必要的物資。德黑蘭減災與管理組織(Tehran Disaster Mitigation and Management Organization)開

³³ 第 1 編 洪水ハザードマップ作成の基本，

<http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/html/kasen/Floodhazardmap/pdf1/10.pdf>。

發快速損害和損失評估系統，再利用地理資訊系統(GIS)了解建成環境中的各項數據資料(人口、建物密度)（參見圖 5-3），估計地震來襲後一分鐘之損害程度，除了災害和損失評估，緊急應變還包括災害和環境的監測。此外，除成立專案機構和評估系統之外，亦需提供特殊培訓和設施，可提高緊急應變之成功率。

表 5-1 緊急應變中心設置準則

編號	準則內容
1.	建築物應使用抗震材料並遵守建築規範。
2.	提供緊急應變之車輛停放位置應該在無地震發生潛在區。
3.	緊急應變中心的分布，最大半徑面積約為 1.5-2.0 公里之區域(Gratz, 1989)。但實際應考慮易發生地震機率、周邊公共設施服務程度、地區脆弱度與人口密度等。
4.	緊急應變中心周邊道路有足夠寬度，並可排除人為障礙。
5.	搜集有關之數據資料，如：航照圖、衛星雲圖與相關數據等。
6.	正確使用特殊工具輔助。
7.	培訓當地自願之救援隊伍。

資料來源：本研究整理



圖 5-3 德黑蘭正在興建之減災與管理基地分布圖

資料來源：德黑蘭減災與管理組織(TDMMO)

而在準則第六點提到之於地震發生後，使用特殊工具輔助搜救，並且成立搜索隊和救援隊，其組成等級與搜救目標內容如表 5-2。

表 5-2 搜索和救援隊伍的形成

等級	隊伍類別	目標	人員/設備
一	超級救援隊： 100-200 人	優先設施	人員：救援專家和消防隊。 設備：探測器、搜索設備、溫度探測計、夜視攝像機、地面聲納接收器等。
二	區域救援隊： 20-100 人	中高建築物	人員：消防大隊訓練之團隊，訓練有素的救援專家團隊和救援犬。 設備：探測器，搜索設備，空氣壓縮機，鋼銑刀，移動捲場機等。
三	次地區救援隊： 10-20 人	住宅大廈	人員：訓練有素的團隊，包括救援專家，市民合作。 設備：鐵錘，電鋸，鋼材切割機，鑿岩機，鋸子，繩子，鐵鍬等。

資料來源：JICA and the TDMMO, 2004。

另外，培訓救援隊伍十分重要，能使其在災害發生時發揮其重要的救援功能，為配合物資之提供，建議可在脆弱區設置公共開放空間，並建設臨近之緊急道路。

（二）建立緊急醫療救護單位(Emergency Medical Care Units ,EMCUs)

由於地震後產生之大規模人員傷亡管理，成為緊急應變計畫中的主要挑戰之一，其可能直接影響死亡率和受傷率。因此需要實施特別措施，旨在提高防備水平的能力和改善地震事件發生前，醫療保健措施和能力。(Cooper, 2006)以社區層面而言，緊急醫療救護單位可幫助人民或專家小組救出災民，亦可作為檢傷分類單位，將受傷的人送往醫院以控制流量，尤其是在災難發生後的最初幾天，其職責是提供急救和基本治療，進行檢傷分類，穩定傳送嚴重病患到醫院。此外，緊急醫療單位亦負責提供衛生保健、醫療援助倖存者以及控制地震引發之傳染病事件（Movahedi，2005）。

依據表 5-3 可得知緊急醫療救護單位設置相關準則有下列五點，並且其位置選擇也須考慮人口密度和建築物結構的脆弱性，亦需緊鄰緊急道路，以加快運送傷者到醫院做主要的治療。

表 5-3 緊急醫療救護單位設置之準則

編號	準則內容
1.	至個別建築物的距離應不超過 500 公尺，並允許於地震後可步行進入。 (JICA and the TDMMO, 2004)
2.	所需之面積大小約為 40 平方公尺，以有足夠的空間保留必要的物資， 或容納醫療專家。
3.	可以結合其他緊急指揮設施，提供急救物資，例如：氧氣供應設備等 關鍵設施。
4.	必須要有可靠的通訊系統，亦需有緊急供水和電源設備。
5.	周圍有足夠空地可以使用，例如：可以作為直升機停機坪運送災民。

資料來源：本研究整理

除緊急醫療救護單位之外，地震發生後，每個分區至少需要一個可以緊急應變和備有手術室之醫院。其應設立於

1. 交通方便且四周寬敞之緊急道路上

依據德黑蘭減災和管理組織之規定，個別建築物和最近醫院之間之距離不應超過 2 公里。因有一定之困難度，所以需特別考慮人口密度，脆弱程度的優先次序。

2. 建築物應富有抗震結構和基礎設施，且應位於無地震潛在之安全地帶

可使用地圖輔助確定相對安全地點，嘗試用適當的抗震規範建造抗震建築物。此外，為便於在緊急情況下，加護病房，手術室，X 光室和其他重要設施的活動，應放置在地面或在一樓。通常在易發生地震區的醫院應該能在很短的時間與空間內完成許多事，但依據過往的經驗，醫院通常由於缺乏事件指揮系統(ICS)或因緊急情況下的不當規劃，而失去能力(Smith, 2000)。因此醫院應提前做好準備，為不同等級的災難提出應對計劃，例如，接收病患、指揮方式，資源管理，與其他醫療中心合作等方法。

在緊急情況下，醫院接收災民的過程成為最重要的挑戰。根據 EMCUs 評估實際上僅有約 10%-15%的大規模傷亡事件受害者需要住院治療(Barbera and Macintyre, 2002)。故在一般情況下，緊急醫療救護單位會先檢查傷患的狀況，再送至醫院。而對於那些直接前往醫院的病人，可以在入口處設立檢傷分流系統，立即進行檢查。在德黑蘭為了控制現有醫院地震流動的災民，德黑蘭減災和管理組織提出只有被標記為黃色

的災民是要被轉移至區內現有醫院，並提出以下緊急輸送之步驟（如圖 5-4）。

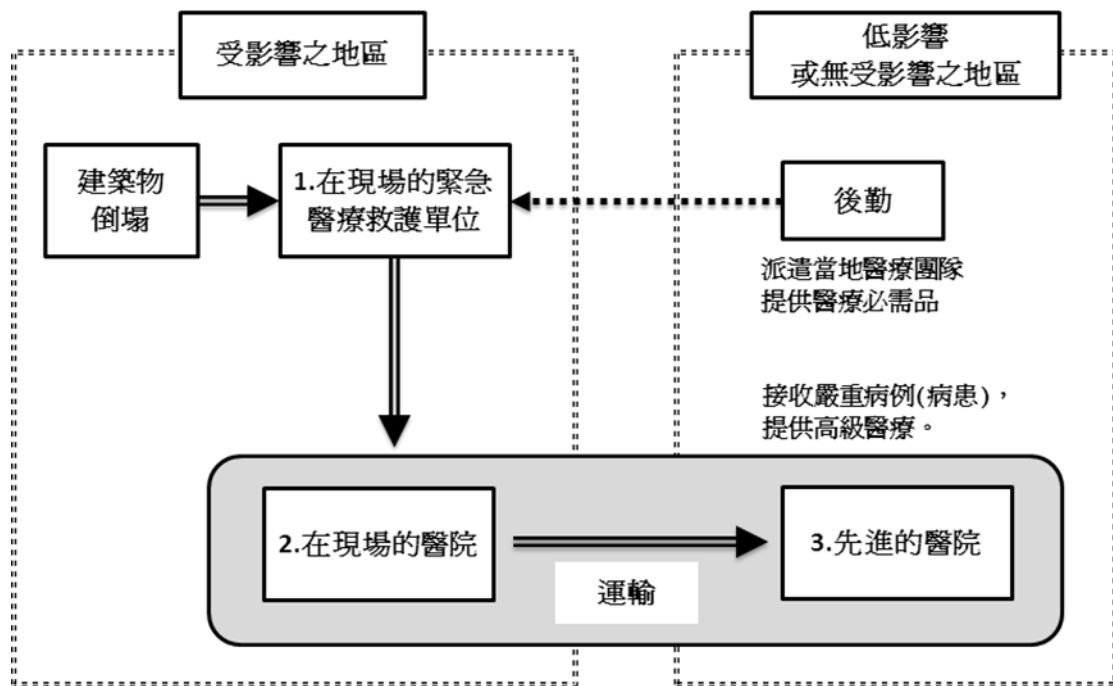


圖 5-4 緊急輸送之步驟，以防止德黑蘭地震發生後在現場的醫院不敷使用

資料來源： JICA and the TDMMO, 2004.

另外，德黑蘭減災和管理組織也認為應採取特別的醫療措施保護需要持續醫療照顧的病患，如心臟病、糖尿病或腎功能衰竭以及多處受傷而產生的痛苦，由於不是每家醫院都可進行外科手術或提供加護病房，病患應轉移至適合的醫療中心，也因此緊急情況下需要提供人員配備和材料的計畫。

（三）緊急道路

主要功能為提供與災害管理中心之間的聯繫，確保緊急應變團隊能容易進入受災地區。並且應確保緊急道路的運作能力與準備替代路線，避免於緊急情況下道路無法負荷導致運作異常。

此外，緊急道路之寬度和坡度必須適當，必須考慮到所需的空間和疏散人員與救援車輛的輸送，故道路最小寬度約 15 公尺(Gyosei Corporation, 1997)。並需詳細評估其在白天、晚上、平日和週末的實際車流量，作為緊急應變之參考。另外，需避免地震發生後過多車輛湧入造成救災之困難，可以禁止或限制部分道路，再透過大眾媒體傳播提供災區的訊息給與市民和災民。

（四）緊急疏散

在伊朗地區，有大部分的人民生活在地質較脆弱的地方，故於地震來襲時，其房屋將會嚴重倒塌。緊急疏散在此則可扮演重要的一環，以保護居民的生活。地震發生後，如果因房屋倒塌、損壞或人為災害（如煤氣洩漏、山崩或引發之火災等）威脅人民生命安全，此時應提前分配居民臨時住宿的地方，而可容納幾小時至幾天的地方為優先緊急疏散地點之選擇。

設立緊急避難所之基本要求，從社區層面來探討，公共場所，如：政府機關、寺廟和學校，甚至是結構安全的私人大樓皆可被視為潛在的避難場所。如果現有的安全建築不夠容納疏散人員需求，住宅區周邊的開放空間如公園、遊樂場亦可視為緊急避難所。但特別的是，開放空間的使用程度，亦會因氣候條件之不同產生不同的效果。

國際組織也有針對避難場所的空間標準提出規定，單人床的大小約為 2-5 平方公尺，兩個床位之間的距離約 0.75 平方米(加勒比緊急救災機構 CDERA, 2001)。但這些規範需要因社會經濟文化條件之差異進行修正。緊急避難所應相鄰社區，每個人的房子和避難場所的距離約為 500 公尺。另外，緊急避難所之位置應鄰近緊急道路以方便進入或撤離，亦須考慮是否有適當的儲存空間足以管理 3 天內的必需品。

此外，避難場所之選址應避免位在潛在災害發生區，如：洪氾區、易山崩區等。為確保緊急疏散所的正常運作，地方和國家的有關當局事先準備緊急疏散的全面計畫與欲實行之主要任務。全面計畫需要考慮的主題包括以下：

1. 選擇緊急避難場所
2. 管理者的任務
3. 檢查和維護選定之地點
4. 準備必要的資源採購機制
5. 公共資訊和培訓方案的發展

至於疏散令之發布則可由政府或一級單位透過大眾媒體實施。地震發生前，應指派人員定期檢查緊急避難所。地震發生後的最初幾天，地區負責人應分配衣服、食物、水和其他所需物資及協助撤離人員。建議可以登記協助撤離人員名單和整理調度等訊息，向當地災害管理總部回報，亦可簡單註冊現行避難所之災民資料，這些數據對於重建時間較長或是需要尋找失蹤的人提供有效地幫助。

日本刻正檢討指定學校為避難據點之合適性，依據國立教育政策研究所平成 23 年 8 月公佈之調查(調查時間為 2011 年 5 月 1 日)，公立學校 89.3%，30,513

所學校被指定為避難所。但於設施設備整備狀況，在被指定避難所學校中具完善防災倉庫、儲備倉庫占 35.2%，具儲水槽、游泳池的淨水裝置占 29.7%，具自家發電設備占 18.0%，顯示被指定成避難所與其需具防災機能不具一致性。為能因應災害需策劃設置儲備倉庫及通信設備整備等，對於學校等建築物及構造物，應努力確保耐震化等安全性(包含非構造部份耐震化-例如防止天花板落下對策)。除用地確保外，需於學校建造海嘯不可到達之安全高度平台(生存者避難高度約 2.9 層，但 5 層以上建築高度為絕對安全基點)，並規劃建造能夠快速到達臨近的高台或者後山之類的安全場所的避難路線。此外，將學校列入災害對應手冊者，地方公共團體於都道府縣層級佔 90.9%、市町村層級約 71.4%。但僅有三分之一有考慮學校避難所機能並製成防災手冊。基此，防災當局與教育委員會必須聯手製作避難所維護管理手冊。

四、物資系統規劃與設置原則

日本因國家政策支持並推展物流機制致低庫存率，又因過度依賴公路運輸，於道路中斷後無法順利運補，即使運到也因缺乏由市町村展開之物流據點的物資運送計畫而無法順利送至各避難處所，故針對儲備計畫與物流系統規劃進行檢討，確立採購標準格式與生活必需物資對應之事先整備。

貳、防災地圖繪製與防救災設施規劃

一、水災

美國在 1968 年通過「國家洪水保險法案」(National Flood Insurance Act)，強制洪水保險，並又於 1973 年通過「洪災保護法」(Flood Disaster Protection Act)，公告決定洪水保險費率的「洪災保險率圖」(Flood Insurance Rate Map, FIRM)，目的在促進洪泛區土地合理利用、減輕政府財政負擔及災民快速重建家園，舉凡核准新投資開發案、核發房屋使用執照及辦理房屋抵押貸款，均需參考之。其洪泛區管理對策如下：(1)位於洪泛區內的城市中心應採取修建堤防、防洪牆、在上游區修建水庫或通過利用高地和洪泛區的天然容蓄能力截流洪水等措施加以保護；(2)將經常遭受洪水淹沒的社區改建為公園和娛樂場所；(3)對那些保護程度不高的社區周邊和自然地理位置較高，而不受洪水影響的地方，州和地方當局也應通過抬高建築物高程的方法控制新建工程；(4)將處於低窪地帶的建築物遷移至較為安全的地區；(5)強化洪水沖積區的高地種植作物；(6)重要基礎設施，如供水和污水處理廠、發電廠、重要公路和橋樑等則應通過抬高基礎高程等措施加以保護；(7)受堤防保護的基礎設施、房屋以及工商企業和農業部門都

應參加洪水保險；(8)在堤防和水工建築物的上游區允許全年浸水，以保持和恢復水生生物棲息地，為魚類、水禽及其它野生生物提供生存場所；(9)對堤防進行加固改造，避免堤防失事所造成的災難性損失；(10)在受堤防保護的低地，應將中耕作物改為輪種作物或造林、退耕；(11)對洪泛區的高地加以治理，控制新的徑流，恢復濕地³⁴。

日本洪水預測區域圖製作以水防法為依據，製作包含洪水預測區域及水深、被害型態、洪水預報傳達方式、避難場所及避難相關事項等資訊之洪災地圖，並由市町村長公開發布給當地居民，相關圖資與規範如下：

- (一) 引致步行避難困難度關係圖：每一網格(250*250 公尺)提供 4 項指標套疊，包含：步行避難困難、可能步行避難、淹水深 0.8 公尺以上、淹水深未滿 0.8 公尺，製作流速數值與步行避難困難度關係圖。
- (二) 主要道路洪水到達時間分級圖：將堤防破堤時氾濫水擴散速度分為三級，包含：氾濫水到達時間 30 分鐘線、1 小時線、2 小時線，另亦載明主要道路淹水 50 公尺以上的區段，並規劃直升機可能起降點。
- (三) 提供載明淹水時間和洪水到達時間對應表格：劃定分區與參考點位(如：學區、堤防崩壞點)，淹水時間共分 6 級，包含：1 小時以內、1-2 小時、2-3 小時、3-4 小時、4-6 小時、6 小時以上，可知某區某點位淹水時間、最大淹水深度與淹水日數。
- (四) 地下街、地下鐵
 - 1. 地下街：破堤後最短時間內，洪水到達時間與月台天花板被淹沒時間。
 - 2. 地下鐵：破堤後最短時間內，洪水到達地下鐵車站時間，包含：車站名、洪水到達時間、到月台淹水時間、月台天花板被淹沒時間。
- (五) 明定標誌設置相關規範：洪水標識設置目的、洪水標誌(圖例/圖形)表示項目、設置基準方針的策定。
- (六) 避難重點事項與宣導
 - 1. 向鄰近呼叫：避難時向鄰近場所呼叫可有效減輕地區受害程度。
 - 2. 弱勢族群避難支援：高齡者、殘障者、幼兒等需特別照顧者，必須迅速提供情報促使盡早避難，應於圖上載明弱勢族群名單與避難支援者間情報的

³⁴請參見：http://tw.search.yahoo.com/language/translatedPage?tt=url&text=http%3a;http://www.waterinfo.com.cn/syjj-1/guojiguancha/200306050063.htm&lp=zh_zt&.intl=tw&fr=yfp。

傳達方式。

3. 開車避難危險性：一般淹水深度達 30cm 以上車輛行走相對困難，50m 以上其浮力恐致車身浮起，並易造成電動窗緊閉無法開啟。另外，車行過程產生波浪除對步行避難者產生危險外，亦妨礙緊急車輛通行。
4. 輕便服裝與集體避難：可有效防止事故發生，以圖示提醒穿著輕便服裝、集結家人與鄰近者共同避難。
5. 提升狀況判斷力並適時因應：加強情境模擬，告知民眾可能情況與因應，如遇水災需視情況判斷前往避難場所避難，或於自宅進行垂直避難。

台灣中央部會主管權責機關經濟部水利署，目前已製作出淹水潛勢圖資，可利用 Google TMEarth 結合淹水潛勢等資訊建置防災資訊服務網供民眾查詢 (http://fhy.wra.gov.tw/Pub_Web_2011/Default.aspx)。

二、坡地災害

奧地利危險區劃定概念最早源於瑞士，由於同屬於阿爾卑斯山脈區域之國家，隨著二次大戰之後旅遊及交通逐漸發達，而雪崩造成的災害頻傳，為使居民及地方政府瞭解哪些地區適合開發或居住，因此發展出標示具雪崩災害風險地區之雪崩防治地圖。於六零年代起，開始針對境內具洪水、沖蝕、崩塌、地滑、土石流及雪崩等災害危險之地區，予以調查界定並標示於圖上，以作為災害治理與管理之參考。1975 年於森林法(Forest Act, §8 and §10)正式規定，對於災害可能發生區域需製作危險區地圖(hazard map, GZP)，並研擬危險區計畫(hazard zone plan)實施整治工作。其危險區劃定方法，具一套系統性工作步驟，其一為技術程序，含集水區基本資料勘查、水文分析、現場踏勘、估算設計事件、危險區域標示及繪製危險區地圖等 6 個步驟；另一為行政程序，含科學審查及行政審核工作。

日本規定都道府縣約每 5 年，應實施有可能發生陡坡崩塌等土地，有關地形、地質、降雨等狀況，以及有可能發生土砂災害的土地利用狀況及其他事項有關的基礎調查，作為指定土砂災害警戒區域及土砂災害特別警戒區域，以及防止其他土砂災害的對策所需的基礎調查，劃設標準與相關規範分述如下：

(一) 土砂災害警戒區域(通稱 yellow zone)

1. 劃設標準

- (1) 傾斜角度 30 度以上，高度 5m 以上的區域。
- (2) 從斜坡上端水平距離 10m 以內的區域。

(3) 從斜坡下方高度為斜坡 2 倍以內區域(超過 50m 以 50m 計算)。

2. 相關規範：

急陡坡崩壞等發生場合，對於居民生命或身體有產生危害之虞之區域，需進行危險告知與警戒避難體制之整備。

- (1) 市町村地域防災計畫(土砂災害防制法第七條第 1 項)：對於有土石災害發生之虞的區域，進行有關土石災害情報的蒐集、傳達、預警報發佈、避難、救助等警戒避難體制的確立。因此，關於土石災害警戒避難體制，對於擔任其中心職務之市町村防災會議所制訂市町村地域防災計畫，必須訂定各警戒區域警戒避難體制相關事項。
- (2) 災時需救援者相關設施警備避難體制(土砂災害防制法第七條第 2 項)：高齡者、殘障者、幼兒等，因自行避難困難，容易成為災害犧牲者，警戒區域中需被援救者便於利用之設施設置場所，需於市町村地域防止土石計畫，明訂土石災害情報等傳達方法。
- (3) 徹底傳達週知土砂災害圖(土砂災害防制法第七條第 3 項)：為防止土砂災害對人的傷害、居住地與需被援救者便於利用之設施設置場所避開土石災害潛勢區，及緊急避難等，首要之務乃正確傳達相關情報。因此，市町村長基於市町村地域防災計畫，以地區特色為立足點，傳達土砂災害相關情報，於災害地圖等印刷物記載相關注意事項，並解說必要措施。
- (4) 土地建築交易措施(土地建築交易業法第 35 條)：於警戒區域中出售或購買土地或建物時，土地建物買賣業者有義務說明於警戒區域中之重要事項。
- (5) 防災教育：為能事先防範災害必須由自身做起，檢視住家、上班地點周圍安全、檢查危險場所、收集防災情報等做到「每日準備」。萬一災害發生，必須秉持「盡早避難」。另為使居民對土砂災害，能夠正確判斷並採取行動，行政部門必須對於專門技術事項，採取準確情報提供及援助，藉由行政部門「告知的努力」與居民「瞭解的努力」，將土砂災害對人的傷害減為零。

(二) 土砂災害特別警戒區域(通稱 red zone)

1. 劃設標準：伴隨急陡坡崩壞造成土石移動，對建物作用力大，恐對居民生命或身體造成顯著危害，係指防止崩壞及建物承受力須被提高之區

域。地塊滑動伴隨而生的土石力量，從作用開始歷時 30 分鐘對建物作用力最大，主要影響從地滑區域下端 60 公尺範圍內之區域。

2. 相關規範

急陡坡發生崩壞時，建物被害或居民生命身體具顯著傷害之虞地區，對特定開發行為實行許可制及建築構造規則。

- (1) 特定開發行為許可制(土砂災害防制法第九條)：特別警戒區域出售住宅、社會福利設施、學校與醫療設施等災時供援助設施之建築，開發行為必須能防止土砂災害，自我施行工程計畫須以確保安全為目標，遵從必要技術基準，以上開發須經過都道府縣知事判斷後才能許可。
- (2) 建築構造規則(土砂災害防制法第 23、24 條)：特別警戒區域中，為防止建物損害致住民生命及身體受害，係以建物構造安全為目標，降低急陡坡崩壞土石對建築物造成損害。建築確認制度適用具起居室之建物，亦即建造前，須滿足該制度減輕受害標準，提出確認申請書，並經建築公共團體認可。
- (3) 建物轉移勸告及支援措施 (土砂災害防制法第 25 條)：急陡坡崩壞發生時，對於可能危害居民生命及身體之建物所有人、管理人、佔有人，都道府縣知事可勸告其從特別警戒區域轉移至安全區域等土石防止、減輕措施，對於特別警戒區內設施設備等防災工事或區域外轉移，支援如下：
 - A. 獨立行政法人住宅金融支援機構之融資(獨立行政法人住宅金融支援機構法第 13 條)：滑坡等相關住宅融資，基於從特別警戒區域轉移勸告，提供家屋轉移、替代住宅建設、土地取得等必要借款。
 - B. 補助住宅、建物安全儲蓄事業(住宅局所管補助制度)：不符合特別警戒區域內構造基準之住宅(既存不合格住宅)，可補助從特別警戒區域移出之部分費用，如：建設替代家屋、危險住宅除去費用、改變危險住宅建設所需費用等(平成 21 年「接近懸崖等危險住宅轉移事業」中，統合住宅、建物安全儲蓄事業)。
 - C. 住宅用地買賣措施(住宅用地買賣業法第 33 條)：對於特別警戒區域住宅用地買賣業者之特別開發行為，未取得都道府縣許可不得進行該住宅土地廣告、買賣契約之締結，並負說明該住宅用地買賣、

特定開發許可等重要事項之義務³⁵。

行政院農業委員會水土保持局³⁶，劃設土石流潛勢溪流步驟如下：(1)初步劃設：依據水土保持局技術規範規定之谷口或溢流點位置與 105 度扇狀地角度，配合 1/5000 黑白相片基本圖進行劃設，扇狀地半徑長度以池谷浩公式計算；(2)現地修正影響範圍：(a)以室內初步劃設之 105 度扇狀地為底圖，現地勘查可能之溢流點位置，於現地重新定位；(b)將土石流不可能會經過之部分去除，且若兩岸地勢高出流道 10-12 公尺，大到已高出土石流之可能堆積高度，則可去除；(3)若扇狀地長度不足以涵蓋整個保全對象範圍，則依現地勘查之狀況延長扇狀地之半徑長度；(4)若於現地調查時發現底圖溢流點外，還有其餘鄰近保全對象之溢流點存在，則增列該條溪流之溢流點及影響範圍圖層；(5)室內編修：依據溪流及溢流點 GPS 定位，及現地修正之影響範圍，於室內作業時套疊五千分之一黑白相片基本圖編修成為數值圖檔。

針對業管之土石流災害已製作土石流潛勢溪流分布圖、土石流疏散避難地圖，並協助社區自行製作土石流自主防災社區地圖，並已建置相當完整。水保局也建置土石流防災資訊網(246.swcb.gov.tw)，以 GoogleTMMMap 系統提供查詢及圖資下載。

林峰田(2003、2004)將防災分區分成三類，劃設標準如下：(1)第一級防災分區乃套疊土石流潛勢溪流圖與基本圖，以高危險等級之土石流沖積範圍及潛勢溪流兩側各 50 公尺範圍以內者；(2)第二級以中危險等級之土石流沖積範圍及潛勢溪流兩側各 50 公尺範圍以內者；(3)以低危險等級之土石流沖積範圍及潛勢溪流兩側各 50 公尺範圍以內者。

三、地震

美國加州府會與 1972 年通過「AP 地震斷層區法案」(Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act; EFZA)，此法案主要目的在避免興建人居於已知的活動斷層上，並促進改善已位於活動斷層上之建物的耐震能力，以減低地震導致之傷亡；美國加州政府於 1990 年公布地震災害圖製作法(Seismic Hazard Mapping Act)，明訂州政府必須製作地震災害區圖(Seismic Hazard Zone Map)，提供縣市政府進行土地使用管理政策及法規規劃，採取相關減災措施，避免因地表強地動、土壤液化及地震引致山崩等危及人民生命安全。禁建帶以外之土地，並非即可興建密集式或高樓住屋，按照規定，其開發計畫書需經過工程地質師或大地工程師之審

³⁵ 土砂災害警戒区域・特別警戒区域，<http://www.town.okutama.tokyo.jp/hazado/gaiyou.pdf>。

³⁶ 災害防救地圖產製與應用座談會，國家災害防救科技中心主辦，96 年 8 月 1 日。

查，看地層是否破裂或錯動，以及在斷層活動時是否伴生褶皺現象連。此外，加州 UBC97(Uniform Building Code)同樣以距離斷層遠近規定建築物的耐震設計規範(連經宇，2000)。

依據日本防災基本計畫所示，為形成耐震的都市結構，國家及地方公共團體，應藉由整備避難道路、避難地、延燒隔帶、替代性防災行動據點的幹線道路、都市公園、河川、港灣、機場等都市基礎設施，以及防災安全街道、消解危險密集市區的防災街道整備事業、土地區劃整理事業、藉由市區再開發事業等全面整備市區、建築物與公共設施的耐震、不燃化，有計畫的確保水面、綠地，引導其利用並考慮作為防災用地，形成耐地震的都市結構。

日本建築法第 84 條規定政府可於地震災區發布禁限建令，然實務上很少依據此法源發佈命令。最近一次為三浦半島的北武斷層在 1995 年阪神、淡路大地震後，經日本建築學會判定為活動斷層，橫須賀市長乃依照地質學家建議，將該地震後於都市計畫上劃定之考慮區域。另亦於也四丁目的區之野比東公園劃設為斷層公園，並設定寬 25 公尺、長 600 公尺的範圍內，限制建築行為(蘇瑛敏，2001)。

台灣於建築技術規則第 262 條第 1 項第 3 款，規定該活動斷層之歷史上最大地震規模(M)大於 7 者，斷層帶兩側各 100 公尺不得開發建築、規模大於 6 小於 7 者，斷層帶兩側各 50 公尺不得開發建築、規模小於 6 者或無紀錄者，斷層帶兩側各 30 公尺不得開發建築。

另蕭江碧等人(2002)採用蒙地卡羅方法進行模擬分析，其結果區分為可通行區域及無法通行區域，對於無法通行區域，其區域內據點直接指定為無法避難。對於可通行區域，調查防救災六大空間系統，並依道路層級及避難面積指定避難據點。經濟部地質調查所提供臺灣活動斷層與環境地質查詢系統查詢地質災害潛勢與斷層帶相關資料。

四、海嘯

日本海嘯防治相關法令規範，包含：(1)建築基準法(昭和 25 年法律第 201 號)有效運用災害危險區域制度；(2)土砂災害警戒區域等，及推動砂災防止對策的相關法律(平成 12 年法律第 57 號)之開發行為；(3)建築構造(探討研究低頻度、大規模的外力影響下能夠發揮黏性與韌性之構造)等並做規則作的制度導入。以下針對日本海嘯防治相關作為如下：

(一) 劃設海嘯災害警戒區域

1. 海嘯災害警戒區域

都道府縣知事，可將警戒避難體制下特別整備而成之土地區域，指定為海嘯災害警戒區域。規定如下：(1)於市町村地區防災計畫記載關於海嘯警戒避難體制相關事項(避難設施、避難路線、海嘯避難訓練、情報傳達等)；(2)繪製市町村災害地圖；(3)市町村指定避難設施、締結管理協定(繼承有效)；(4)關於地下設施、避難困難者利用設施等製成避難確保計畫、海嘯避難訓練之實施。

2. 海嘯災害特別警戒區域

都道府縣知事，於警戒區域中為保護居民生命及身體不受海嘯災害，可將限制一定開發及建築土地區域指定成海嘯災害特別警戒區。海嘯災害特別警戒區域必須完成關於海嘯災害警戒區域之合作，並謀求符合一定基準之社會福利設施、醫院、學校。

(二) 市町村海嘯避難設施之指定與締結管理協定

1. 指定避難設施制度

海嘯防災區域社區總體營造相關法律的施行，與根據市町村指定避難設施及避難設施管理協定締結如下：(1)符合海嘯安全構造技術基準之設施；(2)在高於基準水位以上地方配置屋頂平台、有利避難階梯等設施；(3)除指定海嘯發生時設施開放管理措施外，最重要需載明於市町村防災計畫中並公告周知。市町村長可以指定於警戒區域下符合上述基準設施，如廢止、改建等重要變更，亦必須向市町村長申請。

2. 協定避難設施制度

市町村於警戒區域中：(1)符合海嘯安全構造技術基準之設施；(2)在高於基準水位以上地方配置屋頂平台、有利避難階梯等設施，符合上述基準(可能性)避難設施，在設施所有人同意下，締結管理協定後可行自行管理。重點在於締結管理協定時之公告、綜覽及市町村地區防災計畫之記載。管理協定中，要明記管理對象、管理方法、有效期間、違反處理措施。

(三) 避難場所設定

1. 緊急避難處(層級一)：具淹水危險性地區，因無多餘時間前往緊急避難處(層級二、三)避難，應針對該區指定緊急避難處。
2. 緊急避難處(層級二)：近淹水區，在沒有多餘時間往緊急避難處(層級三)避難，須指定緊急避難處。
3. 緊急避難處(層級三)：在沒有淹水危險性區域，指定更高海拔區域作為安

全場所(擬定海嘯避難計畫必要事項請參考下表 5-4)。

表 5-4 擬定海嘯避難計畫必要事項

海嘯淹水預測圖	1. 過去發生或伴隨著地震造成海嘯侵襲之海嘯淹水區域。 2. 可能發生海嘯以及伴隨著地震造成海嘯淹水區(實施海嘯模擬)。 3. 根據上述兩點製作海嘯淹水預測圖(預測最大淹水區)。 4. 設定預測之海嘯到達時間。
避難對象地區	根據海嘯淹水預測圖指定避難對象地區。
避難困難區域	在假設海嘯到達時間前，抽出避難困難區域。
避難場所等、避難路等	指定避難場所、避難建築、避難道路、路徑規劃。
初震體制	職員聚集基準、聚集連絡手段等明確化。
海嘯情報的收集、傳達	海嘯預報、海嘯情報的收集傳達手段、體制、海面監視等。
避難勸告、指令的發令	避難勸告、指示發布基準、順序、方法等。
避難對策的教育、啟發	海嘯避難計畫、災害地圖的推廣、海嘯的知識教育、啟發方法與手段等。
避難訓練	避難訓練的實施體制、內容等。
其他需要留意點	觀光客、海水浴客、釣客等避難對策、災害時必須要被救援者(災害弱者)的避難對策。

資料來源：津波からできるだけ短時間で円滑に避難ができる方策，
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_tsunami/6/4.pdf。

(四) 海嘯防護設施之整備

活用填充構造之既存道路、鐵道，及為防止其後地區受海嘯侵襲，開門、高牆之整備，需延長 500 公尺範圍以高度彌補低地之不足(海嘯防災地區社區總體營造相關法第 29 條第 2 項規定，為滿足國土交通省所訂基準，護岸、高牆、開門是必需的)。另亦進行防波堤減災效果研究，計算方法如下：

1. 使用港灣機場技術研究所開發「海嘯高潮模擬裝置(STOC)」，計算海嘯傳播與溯流。
2. 以 12.5m 的空間解析度，再現研究區域週邊地形(以釜石港為例)，以釜石港海上 GPS 波浪計觀測海嘯波形，並當成輸入條件使用。
3. 計算有無防波堤的效果，結果如下表 5-5。

綜合上述，海嘯防治必須以科學方法對既有的防災對策所具有的防災效果再檢驗，此外還需考量防災效果、費用、時間等層面，與社會經濟、社區總體營造以及彈性對策等，配置完善海岸保全設備。探討都市發展轉移、住宅中高層化、提

高加固街區等措施，並有效運用二線堤、住宅地、公共設施地基等「海嘯防護措施」。進行「社區總體營造」的設施整備時，將當災害發生時的使用方式列入考量，採取「多功能視點」十分重要。除此之外，必須對未來可能出現的災情與地震、海嘯對策迅即檢討現行對策明確指出方向，檢討現行儲備計畫與土地利用，因地制宜製作海嘯災害地圖、實施防災訓練、收集相關資訊、確保傳達體制及安全迅速避難路徑、瓦礫處理方法、避難勸告方式、避難場所規劃、物資流通確保、防止受災區域孤立而製的道路網以及港灣等聯絡網路之對策制訂等。

表 5-5 防波堤減災效果計算結果

	有防波堤	無防波堤
海嘯高度	8.0m	13.7m
最大溯流高	10.0m	20.2m
開始淹水時間	對比沒有防波堤的地方，有防波堤海嘯高度超過防潮堤 4m 時，比沒有防波堤晚了六分鐘。	

資料來源：釜石港における津波被害の数値計算による再現結果，
<http://www.pari.go.jp/files/items/3544/File/20110401-1.pdf>。

台灣於整合性防災地圖製作方面，中央政府部份，包含：(1)教育部建置防災教育數位平台（<http://disaster.edu.tw/index.htm>），並推動防災科技教育深耕實驗研發計畫，透過校園災害防救計畫協助示範學校完成校園防災地圖；(2)公路總局彙整並標示了全臺易中斷之道路及相關路段可能影響之村里提供參考；(3)國家災害防救科技中心也依據其研究成果及各部會之資料，彙整及繪製相關圖資提供相關圖資給鄉鎮市公所參酌使用。

另地方政府部份，則包含：(1)直轄市、縣(市)政府於 2005~2008 年在行政院災害防救委員會的推動及補助下，已陸續完成「強化地區災害防救計畫三年中程計畫」，藉由該計畫，各縣(市)政府在各個協力團隊的協助下，製作完成縣(市)層級之災害潛勢圖資及相關防災地圖；(2)針對鄉(鎮、市、區)層級，內政部消防署從 2009 年起進一步推動「災害防救深耕五年中程計畫（簡稱深耕計畫）」，由縣(市)政府及協力機構協助全臺示範之 133 個鄉(鎮、市、區)公所建置(擴充)各類防災電子地圖，以提供鄉鎮災害應變中心在開設時可用以指揮調度，防災地圖的相關資訊也可進一步做為社區中之防災避難看板。

社區層級方面，中央各主管機關都持續積極的推動防災社區，希望藉此增加社區防救災知識並協助繪製社區防災地圖，包含：(1)自 2006 年起，從行政院災害防救委員到內政部都持續辦理防災社區計畫，每年遴選全臺 6 個社區，給予經費補助，透過輔導社區居民了解自家環境常見的災害為何、危險地點及避難收容

處等，進而繪製出符合社區需求的防災地圖；(2)經濟部水利署於2010年針對易淹水的彰化縣大城鄉東西港社區、嘉義縣東石鄉港墘社區及八八風災受災的高雄縣旗山鎮大德里，及屏東縣林邊鄉永樂社區進行輔導並協助繪製防災地圖；(3)行政院農業委員會水土保持局自2007年起推動土石流自主防災社區，並已陸續協助167個村里繪製防災社區地圖；(4)部分縣市已開始全面自行製作至村里層級之防災地圖。例如：臺北市已有以里為單位的土石流防災地圖、老舊聚落防災地圖，並建置防災資訊系統提供相關民眾下載。部分社區甚至會思考更多的創新作為，例如：將地圖應用於如年曆、手冊等日常能夠接觸的用品上。

目前參酌內政部消防署之「防災地圖作業手冊」，防災地圖內容包含括地圖標題、編號、主題圖、圖例、指北針等內容。防災地圖之主體圖可採用地形圖或行政區域圖（航照圖應考量其清晰程度及可否辨識），並以突顯災害潛勢內容與相關據點為原則，必要內容至少包含：災害潛勢範圍、防救災資源分布、避難收容點，並依個別災害之差異所需資訊加以繪製。為確保全國地圖標示的一致性，內政部消防署亦提供共同需要的標示範例，至少可區分為道路、防災、設施、行政區域界線與特定災害資訊等5部分。指北針原則上以北方朝上為主，若各地區狀況不許可，則可依地區之環境、災害等特定狀況加以調整（王价巨，2011）。

五、危險據點災害覆蓋範圍

我國依據產業類別分別估算其影響範圍，例如加油站影響半徑為268m、煉油槽為800m（歐秀玲，2000）、大型瓦斯貯存槽須臨接6公尺以上之出入道路、液化石油氣汽車加氣站設置地點應臨接20公尺以上之計畫道路、超高壓變電所臨接道路或聯外道路，不得小於12公尺，二次變電所用地，應臨接寬度8公尺以上道路（吳水威，2001）。

日本於311東日本大震災引發核災後，針對民眾疏散避難範圍不斷上修，顯示緊急應變計畫區必須重新檢討，於事故後九小時內依照實際測量數據，三度上修疏散避難範圍，由2Km、3Km上修至10Km。因各國現有的應變計畫，皆有偏低之虞，且民眾疏散計畫之執行考驗地方政府的執行能力。災後針對放射線防護量標準如下：原訂平時1mSv/年；事故發生初期，避免大量曝露(接觸)所屋內躲避: 10mSv；戶外避難: 50mSv；緊急時的狀況(事故持續發生) 20-100mSv。長期目標，事故結束後另訂暴露基準改為1-20mSv/年，惟長期目標還是以1mSv/年為目標。

防災空間系統規劃，需將影響防救災資源需求之潛勢與風險因子及其可能影響範圍列入考量，以避免規劃時將防救災設施與系統設施，置於高災害潛勢與災害危險源影響範圍內，導致都市發展風險的增加。尤其是不同地區，災害潛勢影

響因子特性與影響範圍因地而異，在進行地區的災害環境分析時，皆需納入防救災空間系統需求分析考量。

第六章 都市空間系統防災課題

透過前述各章之說明，可歸納現行多重災害分析與防災空間系統規劃之相關課題。以下即分就災害潛勢與風險分析，及防災空間系統需求與規劃分析兩個層面，說明主要之課題。

第一節 災害潛勢、脆弱度與風險分析

各種極端的自然事件，如：地震、山崩、火山爆發、海嘯、洪水、冬季風暴、森林野火、沿海暴潮等現象，威脅人類社會及自然生態系統，且這些自然災害事件一旦發生，造成之傷亡與損害鮮少是因單一的危險源所造成。因此進行災害風險分析或評估時，若僅從單一災害或危險源著手，將造成災害風險評估與分析的角度，會侷限在單一災害認定的困境，而忽略受災空間系統本身所隱含的多元危險、多途徑、多受體與多地點的向度，而降低風險評估的實用性。

此外，就風險管理角度而言，災害風險分析應從多元災害的課題出發，進行綜合性的災害風險評估。再以其評估成果，作為政府部門、民間等決策支援資料庫或政策評估之工具。從本研究第三章國外相關研究文獻可知，目前多重災害評估方法在國際間，已有不少研究朝向建立多重災害潛勢、脆弱度與風險分析或評估方法論；甚至更進一步將研究成果應用於災害損失評估、多重災害潛勢與風險地圖繪製及相關政策評估。然國內之多重災害研究仍處於濫觴期，僅有非常少數之應用研究，尤其是關於完整的多重災害風險分析，或評估方法論建構的研究仍付之闕如。

雖然多重災害潛勢、風險與脆弱度分析與評估，在國際有不少研究成果。然針對國內而言，尚有許多課題仍有待未來研究繼續投入，目前關於多重災害風險評估的相關課題，可說明如下：

壹、多重災害潛勢與風險評估與應用

都市發展面臨的天然災害威脅，鮮少為單一災害因子，多為數種災害單獨影響或呈現交錯影響狀態。故於進行減災計畫或防救災空間系統規劃時，應考量多重災害對地區之威脅，從多元危險因子、多途徑、多受體、與多地點的面向出發，評估地區多重災害風險分布特性。就災害風險管理角度而言，災害風險分析亦應從多重災害的課題出發，進行綜合性的災害風險評估，以其評估成果，作為城鄉規劃、防災空間系統與防救災設施規劃與評估之依據。

目前多重災害潛勢或風險評估，與相關災害潛勢與風險地圖製作，多由個別

單一災害分析後，再將各別分析結果彙整產生。然各地區有其災害潛勢特性，面對之災害類型的發生機率與特性皆不相同。故整合各種災害潛勢或災害風險時，若單純以加總方式處理，恐與地方實際受災威脅特性不符。因此如何決定地區個別災害特性與災害關係，擬定適合之整合權重，以符合地方災害潛勢特性，提升災害潛勢圖在實質空間規劃上之效率，為一重要課題。

進行整合性災害風險分析或評估，需整合不同災害類型之資料，及整合不同類型與空間層級之災害潛勢地圖。然因資料來源不一，在資料格式上無統一規範，常常造成研究者在處理資料整合上需花費大量時間與人力，或甚至以簡化、假設方式處理，因而降低研究成果之實用性。因而如何製做不同空間層級，及符合社區防災空間規劃所需之多重災害潛勢與風險資訊，甚至相關防災地圖，亦為未來研究與防救災實務操作之重大任務。

另國內相關研究中，亦較缺乏從多重災害與複合型災害風險或衝擊角度出發，探究防救災空間系統規劃，此可能造成防災空間系統或相關設施規劃，低估災害衝擊與防災需求。此課題會造成，當災害衝擊超過預期程度時，將會使災害整備、應變與回復工作更加困難。

貳、多重災害脆弱度、回復力與調適力評估與量測

災害損失內涵，除包含災害潛勢與危險度外，尚包括可能受災害影響的脆弱度。而依據 IPCC（2001）的界定，脆弱度的組成，包含災害暴露、敏感度與調適力。亦即，災害衝擊分析除需評估災害發生機率與損失特性外，亦需分析暴露在災害可能影響範圍內的建成環境、社會經濟特性與災害調適力。為瞭解災害可能帶來的災害損失、傷亡與衝擊程度，甚至為能有效應用多重災害潛勢評估結果，於相關防災空間系統規劃與災害調適政策應用，須有系統的針對規劃地區，進行多重災害脆弱度評估。

目前國際上，除關注災害脆弱度之分析外，亦有許多研究開始著手回復力的研究。特別是如何強化社會與空間系統，在災害侵襲的反應與發生後的回復與重建能力，乃目前歐盟、美國、日本等各國政府密切關注之議題。回復力概念在災害防救與減災工作推動，具有關鍵性地位。尤其是各國政府多極力推動城鄉與社會組織回復力強化工作，包含透過防救災設施規劃、強化吸收災害衝擊的能力，及增強災害調適與回復措施，以提昇與建立災害回復力，及降低災害損失。

災害受體的暴露特性，除影響管理策略能否推動及如何有效推動的關鍵外，亦影響受體面對災害來臨時的調適能力與回復力。例如，居民土地使用行為、社會結構與組織互動關係，災時的應變及災後的重建能力。受體的暴露特性因子在

全球變遷、災害與空間規劃等不同研究領域又有不同的重點，有些更細分出調適力、回復力等概念，又包含更多因子與指標選項，故如何凝聚脆弱度相關分析的因子選取之共識，是未來災害風險分析上的一大挑戰。

脆弱度與回復力相關概念目前國際上討論的文獻很多，不同領域對於脆弱度與回復力內涵的解釋往往不同，且對於如何將脆弱度與回復力因子具體量化，尚未有一致的共識。因此如何發展可行的量測尺度與方法，是未來多重災害研究的重大挑戰之一。國內近年對於脆弱度、回復力與調適力之研究日益增加，但現有研究仍偏重在單一類型災害分析，而較缺乏從整合性觀點，評估地區整合性多重災害脆弱度、回復力與調適力。

目前歐盟科研架構計畫（European Union Framework Programme, EUFP）第七期（FP7）中有所謂的 MOVE（Methods for the improvement of Vulnerability Assessment in Europe）計畫（Marzocchi et al., 2012），主要目的即在改進災害脆弱度、回復力與調適力研究。試圖建立歐洲地區自然災害分析方法與架構。該計畫非常強調整合性多重災害脆弱度、回復力與調適力評估的重要性，特別是進行地區空間規劃及災害管理，亟需從地區多重災害脆弱度、回復力與調適力觀點，支援防災空間系統規劃，以提出降低災害脆弱度策略，減少災害損失與風險。然國內從多重災害觀點，進行脆弱度、回復力與調適力研究，仍值得後續研究投入。

參、本土化多重災害潛勢與風險評估方法論的建置

目前多重災害研究在台灣屬濫觴期，多重災害方法論架構建置尚有一些值得努力之處。不管是災害潛勢與風險分析，或此等分析衍生的相關防災空間規劃應用，皆亟需建立適合國內的分析架構與方法論。特別是如何參考國外相關研究，發展適合台灣的本土多重災害評估方法論與架構，甚至進一步研擬建立台灣多重災害風險、脆弱度、回復力與調適力評估體系、指標系統與方法論，是未來研究與實務操作可持續投入的方向。

透過上述課題之說明，可點出國內當前防災空間系統規劃之基本災害潛勢、脆弱度、回復力與風險評估之課題。由於本研究為防災空間系統規劃相關課題之先期研究，故後續將提出相關後續可行研究計畫（參見附錄三），針對這些課題，進行更進一步之研究，以更妥善建置多重災害防災空間系統規劃之規劃方法論、規劃程序與內容，以提供後續空間規劃與災害管理決策之參考。

第二節 防災空間系統規劃與設施需求分析

壹、防救災設施需求分析研究課題

一、日夜間人口推估與設施需求分析

人口規模、密度與空間分布，為估計防救災設施需求規模與人員傷亡之基礎。尤其在多重災害影響下，進行防救災設施需求與傷亡人口估計，需進行之基本分析包含：(1)日夜間人口分布與密度估計；(2)人口分布與土地使用類別之對應關係；(3)各種災害衝擊與防救災設施需求。其中日夜間人口數量、組成與分布為核心分析事項，亟需在面對多重災害衝擊，提出可行的估計方法與內容，以支援多重災害整備、緊急應變、災害調適與防災空間系統規劃工作。

國內於夜間人口分布估計，除可依戶籍資料粗略推估外，另根據內政部營建署「都市發展總量管制之研究」，應用總量人口引力模式之估計結果，配合行政院經濟建設委員會，應用世代生存法進行台灣地區人口總量推估，進行總量人口數分派。惟經建會的估計成果乃針對全台，在分派到各縣市與各鄉鎮市時，可能產生誤差。另在日間人口數量與空間分布估計，相關研究較少。現有研究多藉由土地使用型態與人口數量及組成關係進行估計，但為利於多重災害防救設施規劃與緊急應變工作推動所需，亟需針對日間人口數量、組成與分布提出本土化之估計方法。尤其是研究成果，需可應用於災害傷亡推估、防救災設施需求估計與防災空間系統規劃。

目前日夜間人口估計，及應用於多重災害防災空間系統規劃與設施需求分析，在各國已有一些分析成果，但在國內仍屬於初始階段。特別是將日夜間人口分析成果，妥適的應用於防災空間系統規劃與災害調適力的提昇，乃後續研究之重要分析重心。

二、多重災害之防救災設施需求估計

防救災設施的需求特性與需求量估計，是檢討規劃地區防救災資源與設施供給狀況的基礎。許多地震或颱風災害損害估計模型，可應用於模擬地震與颱風災害造成的衝擊與損害。但多數研究仍較偏重估計地震或颱風單一災害引發的衝擊與損害，而較少討論多重災害、地震或颱風引發複合型災害（例如火災、坡地災害），可能引發之衝擊與損害。此課題特別在 2011 年日本 311 東日本地震發生後，地震引發複合型災害，造成的防救災設施規劃、評估與需求估計，乃成為各國防災空間系統與設施規劃的核心議題，亦是災害管理工作未來推動的重大挑戰。

過去許多研究多透過個別災害損失或損害調查，依照災害損失與損害項目分析受損原因及其關係，訂定災損推估公式。透過假設之災害事件與境況，計算伴隨因災害衝擊產生的損害，推算可能引發之衍生相關災害，再估計建物損害、維生管線、財產損失、人員傷亡與交通損害等。藉由這些估計，可瞭解大規模災害引發相關複合型災害，可能需要之相關防救災配合規劃策略，及相關之防救災設施（例如，庇護所、救災與避難交通運輸系統、緊急醫療救助等）需求。然目前國內，對於多重性與複合型災害之設施需求分析，及相關研究與實務應用仍非常稀少，而值得提出本土化之估計方法、程序與內容，做為未來面對大規模災害或多重災害，整備、應變、重建與相關災害管理工作之決策基礎。

貳、防災空間系統規劃課題

1. 地震引致海嘯防治

日本於 311 東日本震災後，因應地震與海嘯產生的複合型災害衝擊（包含地震、洪水、污染、科技災害等），及其緊急應變策略與災害調適措施，成為國內災害防救工作推動之嶄新且重要課題。目前海嘯相關研究，應用於防救災設施與緊急應變規劃，主要考慮因素包含：(1)空間屬性，如居民年齡、避難者步行速度、障礙、防災意識等；(2)道路阻塞率；(3)疏散行為模式，以進行緊急應變措施評估與綜合性防救災設施與策略規劃。另亦針對海嘯災害檢討資訊提供與居民疏散避難的相關性，特別是如何有效結合海嘯警報與海嘯防災地圖，快速提供可靠且易於辨別之訊息，瞭解警報發佈後，居民避難行為特性，及居民避難考量因素與原因。

國內對於地震與海嘯引發相關複合型災害衝擊，須針對可能出現的地震與災情，檢討現行防救災與防災空間系統規劃策略。相關工作包含：災害資訊的蒐集，評估現行防救災設施需求、空間配置與土地使用型態，因地制宜製作海嘯災害潛勢地圖，以利於進行地震與海嘯引發相關災害之緊急應變與災害調適工作推動。

國內對於海嘯預警與相關防救災空間系統規劃，及相關防救災設施評估與需求分析，仍缺乏深入與具體對策。根據國內研究機構分析，台灣對於來自中國海的海嘯威脅不可輕忽。因而建置台灣本土地震與海嘯引發複合型災害相關損害評估，及相關防災空間系統規劃與防救災設施需求規劃與評估，乃當前災害防救工作推動，重要且執行積極推動之議題。

2. 多重災害避難據點規劃及適宜性評估

依據災害防救法及內政部推動之災害防救深耕計畫，皆亟需對災害緊急應變與避難設施，提出妥適的規劃與適宜性評估策略。特別在 2011 年東日本地震發

生後，許多既有防災空間系統規劃、避難設施與相關緊急應變設施，皆面臨須重新評估，其在面對多重災害衝擊之適宜性課題。此課題對於都市與城鄉發展過程，如何提出妥適的災害防救、應變與減災措施，以面對多重災害衝擊，乃非常重要且具有急迫性。

許多研究指出，一些劃設為避難與收容處所，常與其被指定成避難所的防災機能不一致性。例如，不具備應有之救災物資儲備倉庫及通信設備整備等。有些處所或設施之建築物及構造物（例如，指定為避難收容中心之學校或活動中心），無法確保耐震等結構安全要求。除用地確保外，有些防救災設施可能亦位於高災害潛勢地區，或相關避難路線與交通可及性較為不足。這些課題皆會因未來大規模災害，或多重災害衝擊機率增加，而亟需對防救災設施規劃與現有設施評估，提出對應策略與進行設施適宜性評估。

另由於氣候變遷、極端氣候事件及大規模多重性災害頻仍的衝擊，各國亦開始檢視現有災害緊急應變計畫。許多國家與研究皆發現，原有計畫多低估災害的衝擊，特別在多重災害或大規模災害發生，可能造成原有防救災設施，無法容納民眾疏散計畫與相關緊急應變工作推動所需。故國內之防災空間系統規劃與防救災設施，亦須重新檢視與評估，內容包含：避難圈域劃設標準，及警察、消防、醫療、物資集散、避難收容設施等防災據點等，以面對未來多重性、複合型與大規模災害可能造成的衝擊。

3. 多重災害潛勢地圖製作與防災空間規劃應用

英國風險管理顧問公司(Maplecroft, 2012)，針對國家經濟面對天然災害時的風險狀況所提出之「天然災害風險圖解集 (Natural Hazards Risk Atlas)」，其中考量地震、火山、海嘯、暴風雨、洪水、山崩等天災，對全球 196 個國家做出排名，若單以計算絕對價值(以美元計價的天災整體損失)，台灣排名第四，被列為「極高危險」地區。

鑒於近年來重大災害日漸頻繁，各級政府對災害防救工作之重要性愈來愈重視，對於防救災圖資需求亦愈加提高。目前政府災害防救相關單位，正積極推動災害潛勢地圖（如洪災、土石流等）、防災地圖的製作與發布，及推動地區災害防救計畫、防災空間系統計畫擬定等，以藉之協助災害緊急應變、預警機制與城鄉災害防救體系的建置。

目前日本、歐盟與美國，皆在推動多重災害潛勢與風險分析。主要目的在於提供防災空間系統、避難收容處所規劃與城鄉規劃，關於規劃地區可能面對的主要災害類型與衝擊，以納入規劃與評估程序中考慮。故皆在積極開發多重災害潛

勢與風險評估，及進行多重災害潛勢與風險地圖之繪製。國內為強化全台縣市與鄉鎮區災害潛勢資整備與應用，國家災害防救科技中心乃積極整合與加值產製相關部會之各類災害潛勢圖資共 1,119 幅，惟仍以單一災害潛勢進行圖資製作，而尚缺乏多重災害潛勢地圖製作。因而目前國內亟需進行多重災害潛勢地圖之整合，及強化這些防災地圖，在各空間層級與社區防災空間、城鄉規劃與防救災設施配置評估的相關應用，以降低災害損害與風險。

4. 多重災害防救災空間系統規劃

防災規劃於居住、開發、建設等發展應避開高風險地區，且需全面性思考多重災害衝擊，以提出因應與調適策略。尤其是從國家全災害防救思維，提出合理可接受之多重災害情境及應用於防災空間系統、防救災設施規劃與安全評估，提升國內多重災害管理機制與因應能力，以降低災害損失與風險。

大規模多重災害發生，往往其災害程度與規模會超過地方政府的災害應變能力，甚至遠超出過去經驗與防災演練能預設情境，而造成災害因應、緊急應變與調適的困難。尤其縣市合併後之五都，在缺乏極端重大災害事件的協援機制下，恐因整編合併致行政區域擴大，合併後之縣市亦會因災害類型不同，導致缺乏相關救災經驗，及須同時面對多重災害之衝擊。故完善多重災害災前減災計畫、防災空間規劃與相關防救災設施規劃與評估，並落實於空間計畫上，將可有效提昇大規模災害之緊急避難、物資調度、運送、儲備等相關災害回應與緊急應變，及其後續重建與回復作業。

多重災害防災空間系統規劃，需納入災害風險與脆弱度分析決策支援工具，系統性分析地區災害風險與防救災資源需求的估計成果，以助於提昇都市與空間規劃資源配置的效率。然欲建立完整的多重災害防救災空間系統規劃架構與項目，需涵蓋：(1)整體目標、策略、與制度架構；(2)災前整備；(3)災時緊急應變，與(4)災後回復等項目。然目前這些規劃內容，仍較偏重單一災害模式，而可能造成大規模多重災害來襲，無法妥善因應，造成龐大災害損失風險。

由於防災空間系統與防救災設施規劃，需將影響防救災資源需求之不同類型災害潛勢與風險因子，及其可能影響範圍同時列入考量。避免規劃時，將防救災設施與系統設施，置於高災害潛勢與災害危險源影響範圍內，導致都市發展風險的增加。尤其是不同地區，災害潛勢影響因子特性與影響範圍因地而異，在進行地區的災害環境分析時，皆需納入防救災空間系統需求分析。然現有不管是都市規劃或防災空間系統規劃，皆較缺乏從多重災害角度，進行災害特性、損失與風險評估、災害設施需求分析，及進行實務規劃操作。造成相關規劃成果，難完整因應未來可能之全球環境變遷與多重災害衝擊，而可能產生災害管理工作困境與

高度災害損失。

第七章 結論與建議

現有都市與防災空間系統規劃，皆較缺乏從多重災害角度，進行災害特性、損失、風險評估、災害設施需求分析，及實務規劃操作。造成相關規劃成果，難完整因應未來可能之全球環境變遷與多重災害衝擊。故本研究主要目的，在於擴充 2007 年內政部建築研究所編訂之「都市防災空間系統手冊」，提出因應多重災害衝擊之防災空間系統規劃先期研究，及提出相關計畫建議。以下可歸納本研究主要成果與發現，及後續相關研究建議。

第一節 結論

以下可針對本計畫主要完成之規劃工作與發現，彙整說明如下：

壹、文獻回顧

本研究除界定多重災害概念外，亦提出多重災害相關用語（例如，多重災害、複合型災害等）之界定，以做為本研究相關討論與分析的基礎。另研究之文獻蒐集與回顧，主要包含四個層面：(1) 防災空間系統規劃方法與應用經驗；(2) 國內外多重災害潛勢、損失、風險、脆弱度之分析、評估方法與相關評估經驗；(3) 多重災害對於城鄉發展衝擊，與多重災害管理理論，以及(4) 多重災害防救災設施需求分析與規劃。這些文獻回顧成果，可提供後續相關研究計畫與擬定多重災害防救規劃與調適策略之參考。

貳、多重災害潛勢、脆弱度與風險分析

關於多重災害潛勢、脆弱度與風險分析，本研究主要提出國內外，目前進行此等領域相關研究成果與方法論回顧，以做為國內推動相關研究與防救災實務操作之參考。研究中彙整之研究成果與方法論，主要包含下列層面：(1) 災害風險分析與管理概念；(2) 多重性災害風險分析方法；(3) 整合性災害脆弱度評估。這些成果，可協助國內建立多重性災害潛勢、風險與脆弱度分析系統的建置，及提出適合國內此等領域分析之相關方法論與應用模式，供後續研究與技術發展之參考。

參、防災空間系統規劃需求分析

本部分探討之目的，主要在於提出因應多重災害之防災空間規劃，相關防救災設施需求評估與估計方法、項目與內容。彙整之相關研究層面，包含：(1) 地區日夜間人口數量、特性與分布之分析；(2) 各種災害引發相關防救災設施需求特性，及需求分析方法與內容，包含地震、水災、海嘯等；(3) 各項防救災設施

需求估計方法、項目與內容，包含：傷亡估計與避難場所、醫療、交通設施等需求估計。

肆、防災空間系統規劃分析

本部分在於提出與歸納多重災害防救災設施規劃、空間區位配置方法，及規劃與配置主要準則。關於防災空間系統規劃分析，主要完成之工作，包含：(1) 提出防救災設施資源配置需求分析準則，包含：緊急應變中心避難處所、醫療、交通運輸與物資設施之需求特性與規劃準則；(2) 提出洪災、地震、海嘯與坡地災害防災地圖繪製與防救災設施規劃應用，及相關分析方法與內容；(3) 提出防救災空間系統規劃原則。透過這些研究成果的彙整，提供後續防災空間規劃，災害緊急應變與調適策略擬定，及後續相關研究計畫與防災實務工作推動之參考。

伍、課題分析與相關計畫建議

依據本研究彙整與相關分析成果，可針對下列四個層面，提出現況課題分析，及建議 15 項計畫，做為本先期計畫之後續研究建議與實務推動工作核心。相關課題與計畫包含四個層面：(1) 多重災害潛勢、損失、脆弱度或風險分析；(2) 多重災害防救災設施需求估計；(3) 防救災空間系統規劃與安全性評估。

第二節 建議

由於本研究主要目的，在於面對多重災害衝擊，提供都市防災空間規劃之先期計畫，故將提供後續可繼續研究之計畫，做為推動多重災害空間與防救災設施規劃後續相關政策推動之參考。以下可針對後續五年可進行之計畫，分兩個層面，分別提出建議（具體建議之後續研究計畫，可參見附錄五）：

壹、災害潛勢、脆弱度與風險分析

面對未來可能之多重災害衝擊，及可能發生之極端性大規模災害影響，在災害潛勢、脆弱度與風險分析層面，可提出下列研究方向與課題，做為後續研究可著力之方向：

一、建議一：多重災害潛勢、脆弱度、回復力、調適力與風險分析方法論與相關

應用：近五年分期執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院經濟建設委員會、行政院災害防救辦公室、內政部營建署、國家災害防救科技中心、各直轄市與縣市政府

國內目前都市空間之防災規劃或地區災害防救計畫擬定，多從單一災害潛勢、脆弱度與風險分析著手，而較少考慮多重災害可能帶來災害潛勢、脆弱度、損害、回復力、調適力與風險特性，及對於都市空間規劃與災害管理工作推動之影響。為正視多重災害的衝擊，未來研究亟需建構與系統性討論多重災害潛勢、風險、脆弱度、回復力與調適力評估方法論，及應用研究成果於防災空間規劃。

為執行上述研究，後續對於多重災害潛勢、脆弱度、回復力、調適力與風險分析，可多關注其評估方法、程序與項目之研究，特別是評估指標體系與方法論的建置，及如何應用分析成果於城鄉防災空間規劃與災害管理工作推動，以助於降低災害損害風險，為後續重要研究課題。

二、建議二：多重災害地圖繪製與應用：兩年內執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院經濟建設委員會、內政部營建署、行政院災害防救辦公室、國家災害防救科技中心、各直轄市與縣市政府

國內目前有許多不同類型之災害地圖繪製，但仍缺乏從多層級空間觀點及多重災害角度，繪製整合性災害地圖。多空間層級與多重災害地圖可提供區域與地

區，較簡易的災害管理工具。特別是可協助判定區域與個別地區高災害潛勢或脆弱度地區分布，及決定空間與防災系統規劃的優先次序，及探討需引入何種規劃、土地使用管制與災害調適策略。

在進行防災空間系統與空間規劃過程，不同空間層級地區有不同災害潛勢、脆弱度與災害組合特性；甚至面對的災害類型潛勢、脆弱度與衝擊亦皆不相同。故亟需提出整合各種災害地圖之方法，以滿足從區域到個別地區之多層級防災空間系統與城鄉規劃需求，及提升災害地圖在區域城鄉與空間規劃應用之效率。因而後續可行之研究課題，可建置多重空間，從區域（例如都會區、河川流域、縣市）到地區（例如，單一都市、鄉鎮到村里）之多重災害地圖繪製方法論，與提出應用方法，以協助相關防災空間規劃工作與決策之推動。

貳、防救災設施需求分析

一、建議一：日、夜間人口分析與應用：近兩年執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院經濟建設委員會、內政部營建署、各直轄市與縣市政府

人口規模與密度，為推估防救災設施需求規模與人員傷亡之基礎。尤其在多重災害影響下，進行防救災設施需求與傷亡人口估計，需進行人口數量、組成與密度之推估，以利於緊急應變與防救災設施規劃、設計與配置。目前在日夜間人口估計，及應用於多重災害防災空間系統規劃與設施需求分析，在各國已有一些分析成果，但在國內仍屬於初始階段。特別是如何將日夜間人口分析成果，妥適應用於防災空間系統規劃、脆弱度降低，及災害回復力與調適力的提昇，為目前亟待進行之研究課題。

二、建議二：多重災害引發防救災設施需求分析：近五年執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院災害防救辦公室、內政部營建署、各直轄市與縣市政府

現有關於災害防救設施規劃與配置，較少考慮居民需求特性，而多以學校、活動中心或公共設施直接指定。此種規劃方式，將難以面對多重災害或大規模災害的衝擊。特別是在 311 東日本地震發生後，產生的大規模災害與多重災害衝擊與損失，對於防救災設施的需求，已非傳統規劃與估計模式可完全掌握。尤其國內因氣候變遷與極端氣候事件愈來愈頻仍的影響，後續研究非常需要建立本土地震、颱風、海嘯等災害損害評估，及防救災設施需求評估系統，以利於進行後續區域、都會與都市防災空間系統規劃，及相關災害調適政策研擬，降低颱洪災害

相關損失與風險。

叁、防救災空間系統規劃與安全性評估

一、建議一：多重災害防災空間系統規劃與防救災設施評估系統建置：近五年執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院災害防救辦公室、內政部營建署、各直轄市與縣市政府

由於全球環境變遷、極端災害事件的衝擊與快速都市化，造成暴露在高度災害威脅的人口與地區迅速擴大。此課題對於地方與都市空間規劃、防救災設施規劃、設計、配置與相關災害管理工作推動，形成巨大挑戰。由於現有之防災空間系統規劃與設施配置，多以一般或單一災害為主要規劃依據。較缺乏從多重災害與大規模災害角度，綜合考慮應配合之防災空間規劃方法與設施規劃、設計與配置對策。因而當務之急，亟需將多重災害特性，納入防災空間系統規劃，及防救災設施規劃、設計與配置相關評估體系，以提升防災空間系統規劃效能與降低災害損失風險。

二、建議二：多重災害都市建物與社區安全評估系統建置：近三年執行

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院災害防救辦公室、內政部營建署、各直轄市與縣市政府

近年由於迅速都市化與都會快速擴張，造成眾多高災害潛勢地區過度開發，及都市與土地開發暴露在高度及多重災害之威脅，亦使許多都市發展的脆弱度高度提昇。對於現有社區與建物是否暴露在高災害潛勢地區？現有社區與建物是否能面對極端氣候與大規模多重性災害衝擊？及是否具有可有效降低災害損失與風險之策略？皆是值得關注的課題。因而後續重要研究課題之一，在於亟需建置社區與建物開發脆弱度、安全性與耐災力之評估指標體系、評估方法、程序與內容。此等層面之研究成果，非常有助於檢視與評估社區發展與建物開發，面對多重災害衝擊的脆弱度、安全性與耐災力，以提升社區與建物開發之安全性及降低災害損害風險。

透過上述建議，及綜合第六章課題分析，可將後續可延伸之建議研究計畫（細部建議計畫內容，可參見附錄四），彙整於下表 7-1：

表 7-1 後續建議計畫

層面	計畫名稱	執行期間	主協辦機關
本土化多重災害潛勢與風險評估與應用	● 多重性災害風險評估與防災空間系統規劃應用	102 年—103 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、災防辦、營建署、災害防救科技中心、縣市政府
	● 多空間層級與多重災害潛勢地圖繪製與應用	102 年—103 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、災防辦、營建署、災害防救科技中心、縣市政府
多重災害脆弱度、回復力與調適力評估與量測	● 多重災害脆弱度評估與防災空間規劃應用	102 年—103 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、災防辦、營建署、災害防救科技中心、縣市政府
	● 因應多重災害之都市防災空間規劃與設施調適力強化策略之研究	103 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、災防辦、營建署、災害防救科技中心、縣市政府
	● 多重災害都市回復力評估與防災空間規劃應用之研究	104 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、災防辦、營建署、災害防救科技中心、縣市政府
防救災設施需求分析	● 日夜間人口估計與多重災害防災空間系統規劃應用	102 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 地震引發複合災害之防救災設施規劃與需求評估	102 年—104 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 颱洪引發複合型災害之防救災設施規劃與需求評估	102 年—104 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 地震引發海嘯之防救災設施規劃與需求評估	103 年—104 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
防災空間系統規劃	● 多重災害避難收容據點規劃及其適宜性評估	103 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 因應大規模多重災害都市建物與社區安全評估系統建置	103 年—105 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府

	● 社區導向多重災害潛勢地圖製作與防災設施規劃與整備、應變之應用分析	104 年— 105 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 多重災害防救災空間系統規劃	105 年— 106 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 大規模與多重災害防救災設施評估系統建構與應用	105 年— 106 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府
	● 都會區大規模多重災害避難收容場所規劃與配置之研究	106 年	● 主辦機關：內政部建研所 ● 協辦機關：經建會、營建署、縣市政府

資料來源：本研究整理

附錄一：期中審查意見回應表

審查委員	審查意見	協同主持人意見回復
1. 新北市政府城鄉法展局(王副工程司惠汝)	研究成果落實於土地使用計畫時，建議提出可供都市計畫單位進行通盤檢討作業時，實際應用之操作程序及方法。	本研究主要目的，即希望提供城鄉規劃與土地使用計畫參考。但因本計畫屬於先期計畫，針對後續計畫，將提出此層面之建議（請詳見附錄三）。
2. 中華民國全國建築師公會(蔡建築師仁毅)	本案係屬架構性、前瞻性之研究，確有研究價值，後續建議依據研究架構進行，並與政策需求相結合。	本研究將會依研究架構，及與建研所透過工作會議，確認政策需求，做為本研究後續研究工作核心。
3. 林執行長世昌	報告書第 1 頁針對防救災空間的規劃，單一災害與多重災害的空間需求、避難據點、有效面積等，建議採用基本值加上每一災害所需增加值來核算，本案第四章所提加權平均法或比例法比較難瞭解。	感謝此寶貴建議，將納入後續報告參考修正。在期末報告中，已參考日本等國經驗修正報告內容（請詳見第五章之說明）。
4. 簡教授賢文	(1) 本案提及異地避難，符合本土災例之需求，請延伸探討異地收容概念對避難所選址及估算可行性之影響。 (2) 希望採取之理論模式與方法論能加上本土性災例之檢討，收斂國外文獻作法之應用效益。	(1) 感謝委員指正，期末報告將強化此方面之說明（請詳見第五章之說明）。 (2) 關於相關分析方法，已強化本土分析方法之蒐集（請詳見第四、第五章之說明）。另因本案性質較屬於先期計畫性質，故主要目的在於進行相關方法與規劃經驗蒐集，希望能提供後續計畫參考。故會在後續計畫建議中，引導各計畫提出本土可行計畫模式之建議（請詳見附錄三）。
5. 主席(陳組長建忠)	(1) 防災模式形成並非僅國外之案例參考，建議可加入整合性或本土化思維，訂定三年、五年內可研究之內涵。 (2) 都市防災場所制定之災害地	(1) 在後續執行計畫中，將強化整合性與本土化特性，及提出未來三至五年之可研究內涵（請詳見附錄三）。 (2) 關於都市防災地圖之製做

	圖(防災地圖)過於模糊，建議提出修正方法。	與整合，亦會在後續可研究計畫中提出建議(請詳見附錄三)。
6. 業務單位意見	(1) 報告書第7頁所敘步驟4提及個案災害評估進行加總以得出多重災害評估成果，就本案而言加總是否應設定權重，請補充說明。 (2) 報告書第7頁所敘步驟5提及都市發展與社會經濟環境變遷會影響災害衝擊及不同型態防災設施之需求。本案對如何因應此種動態變化過程，有何研究建議?請補充說明。 (3) 希於報告書第5章本案後續工作事項納入四大層面之研究課題(報告書第9頁所提到)之國內目前研究單位、人力資源狀況，以利後續工作推動。	(1) 關於第7頁第4項災後評估結果加總之課題，在本研究主要提出分析方法之建議。故在後續建議可行研究計畫中，將強化權重分析之建議，以利於後續計畫推動(請參見附錄三)。 (2) 關於第7頁提出之災害衝擊可能引發的需求變動分析，將透過後續建議可行研究計畫，提供進一步之分析(請參見附錄三)。 (3) 關於第五章所提出之研究單位與人力資源概況，將彙整於期末報告。

附錄二：期末審查意見回應表

審查委員	審查意見	協同主持人意見回復
1. 邱顧問易平	(1) 本計畫因應國內外都市災害之多重性且已廣為相關專家、學者重視而投入研究，而將本計畫之重點放在多重災害之課題探討，方向正確。研究成果除了文獻回顧之資料外，各章節皆有充分之分析、探討或建議，附錄三後續研究計畫所建議之十五個課題尚屬合宜，惟如何落實第五章第一節 HAD 計畫運用之三大原則及四種立場方面，似乎有些課題仍值得參考列入。 (2) 文字請斟酌： A. 課題三與十二等：災害地圖改為災害潛勢地圖（請建研所決定之）。 B. 課題十四：大規模「與」多重災害防救災設施評估系統建構與應用，建議「與」字可拿掉。 C. 第 80 頁所稱瓦斯部分，高壓、低壓、瓦斯導管，宜採用台北瓦斯或市政府管理單位之慣用名詞。	(1) 感謝肯定。另對於第五章 HAF 之三大原則與四種立場，因研究範圍所限，在本研究無法全部應用或深入討論。故研究中，較偏重「準備計畫中的關鍵要件」與「緊急應變所需之事項」兩項原則，及從政府立場討論為主。此部分在報告中，已強化說明於第五章第一節之注腳 1。 (2) 相關文字已依建議修正。相關修正內容，請參見附錄五計畫編號三、十二與十四之相關說明。另第 80 頁之瓦斯相關用語，因是引用日本阪神、淡路地震報告資料，故仍以原報告用語為主。
2. 林理事長世昌 (中華民國消防設備師公會鋼鐵公會)	(1) 研究計畫相關內容充分，在水災、土石流、坡地災害、地震災害、海嘯等已有評估方式，值得後續研究之參考。	(1) 感謝肯定。
3. 張建築師俊哲	(1) 單一災害、多重災害，其應變之順序應予考量。 (2) 一個防災空間是否提供多重災害使用。	(1) 一般之災害應變程序，不管是單一災害或多重災害，皆以災害防救法相關規定為執行依據。惟在本

	(3) 多重災害所稱災害是否涵蓋道路、堤防、網路、電信、水、瓦斯、防災空間...等。如果需要則必須提出解決方法，反之則必須說明。 (4) 林肯大郡也是一個災變、多重災害的一種型態。 (5) 本案可提供先期研究的參考。	計畫，主要強調在目前單一災害防救規劃中，須納入多重災害之考量。此相關說明，已強化說明於第一章第一節之背景說明。 (2) 本計畫防災避難相關空間或設施之使用，指同時供單一災害與多重災害而言。此方面亦建議做為後續研究計畫之一(請參見附錄五建議計畫第六與第十一項)。 (3) 本研究所稱之多重災害，主要指特定空間可能面對的多種災害潛勢或衝擊(相關定義請參見第二章表 2-1 之定義)。至於委員建議之涵蓋內容，似指災害衝擊之受體，此較屬於脆弱度評估範圍。此部分已於後續研究計畫第二項中，建議做為後續研究核心之一(請參見附錄五)。 (4) 林肯大郡確實為重要的災害衝擊案例，可列為後續分析參考。 (5) 感謝肯定。
4. 陳教授海立	(1) 多重災害概念、分析工具整理與評析完整，針對防災課題研究計畫之規劃面向中提出以下幾點建議。 A. 建議防救災設施中考慮「重要基礎建設」。 B. 建議大規模災害中考慮「多地同時受災」。 C. 建議複合災害中關於「目標災害境況」的設定。 D. 建議考慮「目標地區類	(1) 感謝肯定，另參酌審查意見，相關修正說明如下： A. 已納入建議，且原有之防救災設施即包含重要基礎設施，此在報告中已強化說明(請參見第一章第一節研究目的之說明)。 B. 已納入大規模災害中考慮，修正內容請參見第二章第一節表 2-1 中，關於多重災害與多重災害分析之定義。

	型」的設定。	C. 此部分將在後續研究計畫建議中，列為可行的操作方向。相關修正與操作建議，請參見附錄五相關建議計畫之說明。在各計畫中，乃建議在案例分析，需特別著重在不同天然環境地區之操作，以考慮不同目標類型地區。
5. 盧教授鏡臣	(1) 計畫內容豐富，彙整諸多國內外核心及土地、建管法規內容，很具參考價值性。 (2) 建議事項(以合約為主，提供規劃單位參考，亦不納入未來計畫考量) A. 建議可就既有防災相關之都計、建管法令彙整災害潛勢，並就檢核方式提擬建議準則，提供都市計畫通盤檢討使用。 B. 防災設施篇章，應變之準備建議不回應都市計畫中 CIP(資本門改善方案)之內容，另建議就結構式減災設施進行討論、分析。 C. 規劃團隊或可就既有資料整合成為脆弱性資料分析，並就脆弱性資料於都市規劃及災害管理之應用進行先期評估。 (3) 人口及社會脆弱度分析、回復力分析在災害管理很重要，但國內仍缺乏以「人」為主軸之圖資，建議建研所可考慮於未來進行文獻彙整，得出國內有哪些既有資料及分析方法可	(1) 感謝肯定。 (2) 相關審查意見之修正狀況，可說明如下： A. 此部分主要納入後續建議研究計畫之研究內容中。此部分之工作，主要建議於後續研究計畫一與三中執行（請參見附錄五兩項計畫之相關說明）。 B. 可納入本研究參考，特別是關於結構式減災設施，已納入建議之後續研究計畫五與十四中，做為重要研究與評估方向（請參見附錄五兩項計畫之相關說明）。 C. 此工作確實非常重要，故於建議之後續研究計畫二中，納入研究之核心標的（請參見附錄五第二項計畫之相關說明）。 (3) 此課題確實重要，故已強化納入建議之後續研究計畫七中，納為重要研究項目（請參見附錄五第七項計畫之相關說明）。

	以使用，並透過以 GIS 評估整合出圖面，提供後續之土地使用規劃、災害管理運用參考。	
7. 業務單位意見	(1) 報告書第 5 頁提及本研究將使用深度訪談法，惟報告書內並未見到深度訪談紀錄或成果，請補充說明，若未使用此方法則建議修正相關內容。 (2) 多重災害與複合型災害似未加以明確定義，另外，多重災害與複合性災害兩者關係為何，皆請補充說明。 (3) 報告書第 53 頁公式(3-3)印刷字體重疊，類似錯誤請再檢視，於成果報告一併修正。 (4) 第 7 章第 2 節「建議」，所列各項建議協辦機關為「災害防救相關主管機關」，有欠明確，建議將有關主管機關逐一臚列。此外，請將台灣建築中心列入協辦機關。 (5) 本案目的之一是建立未來科技計畫研究框架，建議繪製未來研究框架，以及本所與各防災研究相關部會或機構可分工進行之項目，以利閱讀報告書時可快速掌握未來研究之全貌。	(1) 已依建議修正報告內容，修正內容請參見第一章第二節內容與方法之相關說明。 (2) 相關說明已強化於第二章第一節表 2-1，及其相關之說明。 (3) 已修正及檢視。 (4) 已修正相關之協辦單位說明，請參見第七章第二節相關建議之說明。 (5) 已修正與補充於第七章第二節，修正內容請參見表 7-1 所製作，關於本研究建議後續延伸計畫之架構，及建議之主、協辦單位。

附錄三

「因應多重災害之都市空間系統防災課題先期研究」

第一次專家學者座談會會議紀錄

- 一、 時間：中華民國一百零一年六月二十九日下午二時
- 二、 地點：內政部建築研究所
- 三、 主席：陳組長建忠
- 四、 簡報內容：(略)
- 五、 出席人員：林研究員郁芳、洪教授鴻智、陳組長建忠、洪教授啟東、賴研究員深江、盧教授鏡臣、薩教授支平(依姓氏筆畫順序)
- 六、 會議記錄：

(一) 警察大學盧教授鏡臣

1. 多重災害的評估宜和都市規劃實務有更多之整合，都市規劃的特性在於減災，但減災策略會和災害類型有關，建議仍宜先就個別災害予以評估營建環境、指標、進而規劃後，再試圖整合。
2. 營建環境相關分析有限，其是否可抵抗災害，社會脆弱度指標等研究多從文獻蒐集而來，應如何與社會做連結，目前來說有較多侷限。
3. 回應防災空間系統之分析，過去手冊中內容多著重於應變，但在既有的都市結構下，面對新的開發計畫從規劃的角度有無新的方式可以降低風險，因應風險承擔可開發，值得探討。
4. 多重分區：比較高災害風險區是否可建立新機制，如：美國在風險評估方法設計上，以審核機制通過有無為開發先行程序；可發展區提高發展限制或應用建築設計部份等，如何設計機制以回應本案先期計畫。
5. 建研所提出之都市防災系統六大面向，在小區域的影響不顯著，因此建議可重新思考分析醫療、警消之用處，並依不同災害分區考慮基地分區

或建築設計準則，亦可合併考量社會面向。

(二) 林研究員郁芳

1. 建議可思考空間系統上的尺度為何?是否有參考人文背景或社會脈絡的發展?是否考慮整個大都會區發展之脈絡情況，如：北北基桃跨區合作。
2. 欲解決的層面為軟體(法規、政策)，或是硬體(環境改善)?處理方式為主動積極應對或是被動處理現況?
3. 日、夜間人口評估：以中華電信基地台手機數量做估算，可做為一參考方法。

(三) 長榮大學薩教授支平

1. 題目當中，可否將水災防災規則手冊擴充，才是具體找出對應之對策。
2. 在步驟五鐘似乎太重視設施，換言之，設施之實質意即在短期的解決方式，非長期規劃的手段。建議可多考慮土地使用規則。
3. 建議可從社區、地方政府、中央政府的「空間系統」來思考；社區應如何應對在地風險，強調人與社會性議題，中央政府則強調秩序議題，從土地使用規則、土地管理等應變作法，可參考矩陣方式。
4. 可考慮 overlay-going、pre-disaster recovery，因為已開發地區再開發之後的密度會更多；若不加思考長期議題只會造成越多的防災導致越多的災害。可參考詹士樑老師多重分區或吳杰穎老師研究之災前重建。
5. 建議從中、長期的行動研究與規則中探討，如：可從檢討都市相關法令開始。

(四) 銘傳大學洪教授啟東

1. 基本定義：多重災害的界定，應區隔與複合型災害、二次災害與災害風險之差異，multi-hazards 或 multi-disasters，應從上到下提出。
2. 題目為都市空間系統，故建議應專注談都市空間部分，如：五都縣市，另脆弱度及風險應與地理空間聚焦。
3. 單一災害或兩種以上之災害，建議直接鎖定人口保全地區來探討多重災

害對都市空間的影響，如：木柵區等，以回應至災害設施。

4. 防災課題中可考量跨域治理與公私夥伴關係。如：環境影響評估或都市計畫委員會。
5. 防災設施需求部份，應明確界定風險地圖與災害地圖。
6. 流動人口，如：觀光人口、移民人口、商業區人口等之評估方法對於都市空間系統災害分析之影響。
7. 防救災設施條件與防災資源套疊資料如何回應於都市土地使用分析。
8. 因應氣候變遷，如：急降雨等，或是例如：新北市石門核災之個案凸顯多重災害與體制及社會變遷弱勢族群的關係，如要深入探討全球災害，尚包含希臘議題、美牛議題等。

七、 主持人洪鴻智回應：

1. 確實未來要注重營建環境部分，並將之更進一步納入災害防救與防災空間系統規劃中。
2. 現有防災空間系統規劃，確實較偏重在緊急應變，少談到減災。實際上，已開發地區與新開發需有不同災害管理策略，需依各都市或地區發展情形有不同對策。而透過土地使用管制或建築管制，進行減災與降低災害風險，仍是未來防災空間系統規劃可努力方向。
3. 目前都市計畫之細部計畫與都市設計可訂定開發條件，管制都市開發行為，以降低災害風險。例如，土壤液化地區，可限制開發強度。但目前透過此方式的都市計畫地區仍非常有限，而有許多待努力空間。
4. 現有防災空間系統規劃，確實較偏重中、小型都市規模。如果欲擴展至都會或大都市規模，可能需進行一些調整，尤其是需將空間劃分為不同等級，及建置垮區與跨域整合的防災機制。此方面在後續建議之研究計畫，將納入建議。
5. 城市變遷與工業區開發，確實會造成更多都市暴露在災害影響中。因而

未來需在都市計畫通盤檢討中，納入多重災害之災害潛勢與風險分析，以降低災害暴露程度。

6. 由於本研究主要扮演先期計畫角色，未來會從本計畫衍生十五個可研究計畫，以針對防災空間系統規劃相關防救災研究，進行較有系統與深入的後續研究。
7. 未來防災空間系統規劃，如何應用於大規模都會區(例如，台北市與新北市)可能是巨大挑戰。例如發生大規模地震，短期收容所如何選址？以容納龐大的收容人口？此等課題需有更精細的災害管理配套措施，故亦將納入後續建議之研究計畫。
8. 本研究目前仍較關注國內常見的颱風、洪水、坡地、地震等天然災害；關於科技災害，可能需有更多後續研究投入。
9. 國內對於災害防救之公私合作與跨域治理確實較少關注，但目前本研究較偏重都市實質環境，此等災害管理體系層面工作，可納入本研究後續建議之研究計畫。
10. 國內現有之防災地圖與風險地圖製作，確實會造成一些混淆，未來在名詞定義與實際操作內容，需再進一步釐清，且亦將納入後續研究計畫之建議中。
11. 關於日夜間人口估計與分析乃非常重要，但要精確估計與分析卻是困難的議題，尤其在流動性高地區更是如此。故在後續研究計畫中，將針對此議題提出後續研究計畫建議。
12. 氣候變遷課題深且廣，在本研究無法進行深入討論，目前仍偏重在防災空間系統規劃與管理層面。

八、 散會：下午四時三十分

附錄四

「因應多重災害之都市空間系統防災課題先期研究」

第二次專家學者座談會會議紀錄

- 一、時間：中華民國一百零一年十一月六日下午二時
 - 二、地點：內政部建築研究所
 - 三、主席：林建宏 組長、洪鴻智教授
 - 四、簡報內容：(略)
 - 五、出席人員：白教授仁德、洪教授啟東、洪教授鴻智、陳教授亮全、陳教授海立、詹教授士樑、賴研究員深江、薩教授支平 (依姓氏筆畫順序)
 - 六、會議記錄：(依發言順序)
- (一) 銘傳大學陳教授亮全

1. 建議可以思考災害防救與災害管理之差別，一為管理方面，如：應變與軟體面，另一者為空間規劃部分，兩者雖功能不同，但須相互結合；或許在此建研所，可以扮演之角色可再思考，因都市空間內之防災規劃尚未建立完全，故必須釐清問題所在。建議可利用地區災害防救計畫法加以思考。此外，建研所之焦點應著重於地區災害防救計畫，因現行災害之問題通常都是以先開發再以問題解決方式處理，導致一直無法改善問題根源，且因不當重大開發產生之災害頻繁，應審慎釐清問題並聚焦。
2. 即使空間規劃可以因應軟體面需求，但另一種減災方式仍存在重要性，如思考容積率之配置與各開發之應著重如何降低脆弱度等，以減少災害產生之問題。由於過去探討多重災害之經驗較少，一旦發生則後果難以想像，議題應放在空間規劃可以發揮的地方，避免探討之問題範圍太廣。
3. 多重災害與複合型災害之定義，因時間之長短與強度之差別而相異，許多空間規劃、軟體與避難設施等之選址不應全部仿照其他國家，而須考

量我國都市空間之區位，另外短期內使用多重準則評估較困難。

4. 另因部分可以發揮的議題，並非完全屬於建築研究所之職責，故應想辦法與空間規劃制度結合。防災應與都市計畫產生關連且共同改善，須將空間規劃之職責釐清，秉持建研所可作之事項。
5. 災害風險地圖部份是否可為災害空間計畫所用，以日本為例，分為潛勢圖與危險地圖，危險地圖由國土建設廳規劃，不考慮災害發生機率問題；反之，用於災害應變之地圖就必須考慮災害應變之問題，然過去台灣在防災使用地圖之目的尚未明確，如果可從規劃空間需求角度整合後地圖，或許會更有貢獻。
6. 在都市計畫中可增加防災計畫、生態潛勢等，且應與法令結合，才能於法有據。此外，各防災地圖之尺度不同，也應從需求面來討論。

(二) 銘傳大學吳教授杰穎

1. 首先將多重災害與複合型視為一體，但多重災害不單只是 Multi-hazard，以美國來說，其以災害管理事件來看待，並稱之為 All-hazards。但目前台灣以災害學為主，乃體系之不同。此外，我國中央與縣市有不同的災害管理方法，且發展不同的災害地圖與潛勢系統，落實於空間規劃中應為 All-hazards，因此規劃者是否可全部掌握災害潛勢圖與系統值得探討。從體系層面看，未來必須面對不同系統資料之重整與分析。
2. 回應陳教授亮全之看法，地區災害防救計畫與六大系統空間規劃之操作系統大同小異，但空間系統規劃以 Location 為主，及供給導向為主，如此一來會忽略實際上的需求，因此需整合都市計畫與地區災害防救計畫，專注在整備與應變。而空間計畫應著重於降低脆弱度，並思考未來與各部會系統、潛勢圖之關係為何。

(三) 長榮大學薩教授支平

1. 一般來說 Multi-hazards 討論的主體是地點，在探討特定地點可能發生

之災害，並列出特定地點之空間潛在風險分布，此對於空間管理，尤其都市發展空間有相當大的助益。但複合型災害，通常討論的主體是災害，然而應該針對地點討論，雖然已制定，如都市計畫等許多社會機制，但在災害一定會發生，風險一定會存在的情況下，應該是要管理災害，並且提供資訊給各個管理者、規劃者於都市發展中有關災害之資訊。

2. 災害一般而言是面對具體症狀、問題後，並試圖解決，但 Multi-hazards 似乎是解決災害的問題而非解決地區的問題。因此研究目的應該在具體和實際發生的問題做連結。政府有許多部份在討論這個問題，因此建研所只要專責需負責之部分即可。
3. 災害地圖並非只有科學家、規劃師要懂，更應連結民眾，使其理解災害地圖應展現的資訊。

(四) 銘傳大學洪教授啟東

1. 針對本研究中地震引發海嘯防治涉及其他學科之問題、收容避難據點與多重災害地圖等三部分，因各單位皆有提出相關計畫，建議在此研究中可不必討論，並應將焦點著重於多重災害空間系統規劃。
2. 多重災害具有前瞻性與未來性，此外，其多為地方性、族群性，因此可以思考與公共設施結合之研究方法，並且由下往上推動，以社經(媒體、經濟、政治)評估供給需求，再對應到模型中。
3. 日、夜間人口估計部分，建議可以用水電價格或用水量、用電量來推估隱藏性人口，並且套疊至公共設施系統。

(五) 政治大學白仁德副教授

1. 可以利用空間分析工具 GIS 與空間資料做成知識庫、科技管理的平台，跨域結合之方式形成有基礎之知識庫，並相關應用方法放入，如：遙感探測與航照地圖等之工作有助於在規劃方面之工作。
2. 在人口估計方面，北京清華大學對於人口結構分析曾利用 check in(手機打卡)之方式累積資料，藉此得知人口分布，因此也可以使用手機數據

反推日、夜間人口數量。

3. 有些災害可能是連續性的災害，例如：核災，或許可以列入後續長期災害管理與應變之建議，並且還需要其他專業領域之支持與建議。
4. 防災設施為設施規劃之範疇，可以與現行規劃途徑接軌，並建議可以先檢討供給是否可以結合都市計畫之防災法令上。

(六) 臺北大學陳海立助理教授

1. 建議可以思考空間防災規劃，是否納入多重災害與複合型災害之差別，因多重災害主要強調一地暴露於數種災害之承受能力，複合型災害則強調單一災害事件產生連鎖災害導致受災範圍擴大或是造成更大災害。因此或許可以增加新的議題，在複合型災害中常會提到廣域災害，如受災熱區等，倘若很多地方同時災害時，回到多重災害討論，可能周圍有許多地方同時受災，而基礎建設受創將一瞬間會導致受災空間範圍擴大；反之，假設為非基礎建設破壞，即為複合型災害或多重災害處理中較高階位之議題，因此基礎設施或許是複合型災害中重要的課題。
2. 災害產生之新的事情或新的現象，例如：地盤沉陷導致海嘯之災害，可以視為多重災害或是複合型災害，藉此突顯空間防災規劃是否納入多重災害與納入複合型災害之差別。
3. 利用複合型災害或多重災害討論空間規劃，如日本於 311 地震發生之後探討災害管理層級之內容仍處於危機管理部分，倘若災害超過預期或想定之外，則考慮複合型災害與多重災害對應於空間規劃中之內容為何，或許須需理解複合型災害之內涵。
4. 單一災害與多重災害分析手段差別，可以先透過設計近況與想定內容，了解複合災害事件之本身應為何，再針對地區總類，相互疊合災害發生之機率或可能性。另外，也有學者先將災害地區近況分級，再評估脆弱度之等級，可以有效避免權重之解釋度。

(七) 臺北大學詹士樑教授

1. 界定多重災害與複合災害：建議可朝多重災害為狀態導向，為一個地方在自然環境特性上，所可能面臨的災害項目。而複合災害則為事件導向，係各類災害在不同時序組合下所產生之影響，例如地震→海嘯→核能災害，地震→核能災害，強降雨→崩塌，洪災→疫病等形式。
2. 目前單一災害之潛勢地圖，已有相當完整度，建議嘗試進行整合為多重或複合災害潛勢地圖方法之討論，例如納入相關災害變數等，但尚無須實際收集資料，可僅就資料來源與格式等討論。
3. 建議可以分析及提供後續選定影響最劇或機率最高之區位進行個案模擬之建議。
4. 由於複合災害之避難疏散與重建問題和一般單一災害有別，可以嘗試在研究報告中，提供一些基礎研究的建議，以供延伸參考。

七、 協同主持人洪鴻智回應：

1. 當初規劃即是以空間規劃應用為主，因此會以建研所之角度來思考空間規劃之機制、框架與土地使用。
2. 確實如何與地區防災防救法與相關計畫整合，及將災害防救四個階段納入相關計畫，在災害管理工作推動中特別重要。
3. 由於各部會間缺乏有效的對話平台，且因各部會製做之災害地圖，較從專業角度出發，與鄉鎮及縣市政府等需求者考慮之角度不同，使得不同部會間製作之災害地圖，在應用層面面臨巨大之挑戰。
4. 過去建研所僅針對地震災害之應變提出解決措施，但近期建研所慢慢擴展至各類型的災害應變。然而，本研究最主要之目的仍為空間系統規劃，主體是在討論空間面對多重災害的衝擊，以及在多重災害情況下要配合的都市土地使用與空間計畫。因此，確實是要聚焦在都市空間的規劃上。特別是，如何整合現行城鄉規劃或是都市計畫體系才是關鍵，如此方可將整災、防災之議題更完整呈現。
5. 後續確實會以多重災害空間系統規劃為主，且公共設施之需求的重

要，亦須列為後續計畫核心議題。

6. 透過水電方式估計日、夜間人口，或許在未來需求分析可以有些發展。
7. 十分認同對於多重災害議題，應從社區或地方面對之災害課題，透過「由下而上」機制瞭解地方需求，及藉由地方經驗推動災害管理工作。
8. 現行災害應變措施十分多元，亦有不同型態之災害地圖及對於防救災設施亦有不同需求。在此部分未來需要有評估之相關機制，尤其是如何配合都市計畫體系，將減災、整備、應變等之議題納入評估體系，應是後續研究計畫之核心議題。
9. 跨區或跨縣市之災害確實可能發生，故須整合各區、各層級之資源。尤其複合型災害通常為極端災害，因此必須跳脫原有行政或災害管理框架，方可有新想法。
10. 歐盟之案例中，即以不同城鄉空間發展類型，及不同災害之應變情境做為模式開發與多重災害管理之基礎。因此，可依不同地方發展特性找出不同類型之示範地區，探討多重災害發生與其可行因應策略，此部分可納入後續研究計畫之執行考慮要項。

八、散會：下午四時

附錄五：後續研究計畫

項次	一		
研究計畫主題	多重性災害風險評估與防災空間系統規劃應用		
研究緣起 及 研究內容	都市發展面臨的天然災害威脅，鮮少為單一災害因子，多為數種災害單獨影響或呈現交錯影響狀態。故於進行減災計畫或防救災空間系統規劃時，應考量多重災害對地區之威脅，從多元危險因子、多途徑、多受體、與多地點的面向出發，評估地區多重災害風險分布特性。就災害風險管理角度而言，災害風險分析亦應從多重災害的課題出發，進行綜合性的災害風險評估，以其評估成果，作為城鄉規劃、防災空間系統與防救災設施（包含防救災設施與重要基礎設施）規劃與評估之依據。 「多重災害風險分析」的目的，基本上是需釐清可能面對的不同類型災害風險，及考慮都市或地區可能面對之多種型態災害，包含暴露於多種可能之災害特性、類型、頻率與程度。而「複合型災害」，則指除直接造成地區或都市損害之災害外，亦須考慮可能引發二次相關災害之複合損害狀況（例如地震災害，引發之海嘯、水壩潰堤等複合災害情境），及可能發生的交互影響及波及效應。 國內相關研究中，較缺乏從多重災害與複合型災害風險或衝擊角度出發，探究防救災空間系統規劃，此可能造成防災空間系統或相關設施規劃，低估災害衝擊與防災需求。此課題會造成，當災害衝擊超過預期程度時，將會使災害整備、應變與回復工作更加困難。故本研究目的，希望從多重與複合災害角度出發，蒐集與整理國外相關文獻與研究案例，根據台灣本土的災害類型與受災經驗，建置符合國內從事多重災害風險評估可用之方法與程序，作為防災空間規劃者、災害管理與防減災政策決策之支援。基於上述研究之目的，本研究計畫之內容可歸納重點如下： 1. 多重與複合型災害風險分析、評估與應用於防災空間規劃等國內外相關文獻回顧與整理； 2. 建置與建議適合本土應用之多重災害與複合型災害風險評估之方法、程序與內容； 3. 透過案例（可涵蓋不同天然環境地區）與境況模擬分析，應用研究中提出之方法，示範操作方法、程序與事項； 4. 提出多重與複合災害風險分析成果，如何應用於防災空間規劃、防救災設施規劃與評估，以做為災害調適策略擬定與防減災政策應用參考。		
預期成果 及效益	1. 回顧與彙整多重與複合型災害風險分析、評估與防災空間規劃應用等國內外相關文獻與經驗，提供國內相關防救災工作推動之決策參考； 2. 建構適合國內進行多重與複合型災害風險分析與評估之架構與方法論，提供國內未來都市防救災空間系統規劃應用操作之參考。 3. 研究成果可做為未來防災空間系統規劃，及相關之減災、災害緊急應變與災害調適政策決策之支援。		
經費 （單位：千元）	1,000; 1,000	計畫期間	自民國 105 年 01 月 至民國 106 年 12 月止

項次	二		
研究計畫主題	多重災害脆弱度評估與防災空間規劃應用		
研究緣起及研究內容	災害損失的產生，是因災害源與脆弱度的交互影響所造成，尤其在全球環境變遷與氣候變遷的影響下，災害衝擊將可能越來越嚴重。近年來，國際上研究災害衝擊，認為空間系統會因其不同特質及與災害互動關係，而影響災害衝擊程度。因此近年有關災害衝擊研究，多從衝擊為主的研究取向（impact-based approach）轉移到以脆弱度分析為主的研究取向（vulnerability-based approach）。 災害損失內涵，除包含災害潛勢與危險度外，尚包括可能受災害影響的脆弱度。而依據 IPCC 的界定，脆弱度的組成，包含災害暴露、敏感度與調適力。亦即，災害衝擊分析除需評估災害發生機率與損失特性外，亦需分析暴露在災害可能影響範圍內的建成環境、社會經濟特性與災害調適力。為瞭解災害可能帶來的災害損失、傷亡與衝擊程度，甚至為能有效應用多重災害潛勢評估結果，於相關防災空間系統規劃與災害調適政策應用，須有系統的針對規劃地區，進行多重災害脆弱度評估。 國內近年對於脆弱度之研究日益增加，但現有研究仍偏重在單一類型災害脆弱度分析，而較缺乏從整合性觀點，評估地區整合性多重災害脆弱度。例如，目前歐盟科研架構計畫（European Union Framework Programme, EUFP）第七期（FP7）中有所謂的 MOVE（Methods for the improvement of Vulnerability Assessment in Europe）計畫，主要目的即在改進災害脆弱度研究。試圖建立歐洲地區天然災害脆弱度評估方法與架構，及提出適合歐洲地區量測和評估天然災害脆弱度的方法和技術。該計畫非常強調整合性多重災害脆弱度評估的重要性，特別是進行地區空間規劃及災害管理，亟需從地區多重災害脆弱度觀點，支援防災空間系統規劃，以提出降低災害脆弱度策略，減少災害損失與風險。 本研究主要目的，在於建立多重災害脆弱度評估架構、方法與內容，及提出應用於防災空間系統規劃之方法、程序與內容。透過此議題分析，可進一步使防災空間規劃，更能符合地區災害脆弱度特性，以提出更適合地區特性之防災空間規劃方法與內容。故本研究計畫之內容可歸納重點如下： 1. 回顧國內外多重災害脆弱度評估與應用相關研究之現況、方法與案例等文獻，及協助界定適合國內之多重災害脆弱度意涵； 2. 研擬多重災害脆弱度評估指標系統，提出評估方法、程序與內容； 3. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），操做提出之脆弱度評估方法，說明操作方法、程序與內容； 4. 提出應用脆弱度分析於防災空間系統規劃應用之程序、方法與策略。		
預期成果及效益	1. 回顧國內外多重災害脆弱度評估相關研究之現況、方法與案例等文獻，及提出適合國內之脆弱度定義，以協助災害脆弱度降低策略之擬定； 2. 建立多重災害脆弱度評估指標系統，及提出指標選取、指標權重與量測方法，以利社會、經濟、環境脆弱性之衡量； 3. 開發適合國內進行多重災害脆弱度評估之架構、方法與內容。 4. 建立多重災害脆弱度評估指標，協助防災空間系統規劃工作之應用，以利於改善脆弱性與降低災害損失與風險。		
經費 (單位：千元)	880	計畫期間	自民國 102 年 01 月 至民國 103 年 12 月止

項次	三		
研究計畫主題	多空間層級與多重災害潛勢地圖繪製與應用		
研究緣起 及 研究內容	災害潛勢地圖 (hazard maps) 可有效提供規劃者、災害管理與決策者，關於規劃與管理地區的災害風險特性及空間分布資訊，而可做為防災空間、土地使用規劃與擬定災害管理政策之重要決策基礎。然在實務上，災害潛勢地圖的產生並不容易，尤其是多重災害潛勢地圖的製作存在更多不確定性，而使製作的困難度大幅提升。 在災害管理工作推動過程，亟需進行跨地區與跨都市之不同空間層級災害潛勢地圖提供，以利於進行跨域合作、區域治理與大規模多重災害防救工作推動。特別是在面對氣候變遷與大規模災害衝擊，更須建立多空間層級，從大型區域、都市到社區的多重災害潛勢地圖，以利於推動區域與社區防救災工作。另多空間層級與多重災害潛勢地圖，亦可提供區域、地區與社區，較簡易的防減災工作推動工具。特別是可協助決策者判定區域與個別地區，不同類型災害高災害潛勢地區分布，以決定空間與防災系統規劃的優先次序；甚至可協助研判需引入何種規劃、土地使用管制與災害調適策略，以降低災害損失與風險。國內雖已有許多不同災害類型的災害潛勢地圖繪製成果，但仍缺乏從多層級空間觀點及多重災害的角度，繪製整合性災害潛勢地圖。 目前國內有關災害潛勢地圖，多是針對單一災害分析後，再彙整產生。然在進行防災空間規劃過程，不同空間層級地區有不同類型災害組合特性，面對的災害衝擊類型亦不相同。故亟需提出能整合各種災害潛勢地圖之方法，以滿足從區域到個別地區之多空間\層級防災空間系統與城鄉規劃需求，及提升災害潛勢地圖在實質空間規劃應用之效率。 基於上述目的，本研究計畫主要目的，在於建置與提出多重空間層級，從區域（例如都會區、河川流域、縣市）到地區（例如，單一都市、鄉鎮到村里）之多重災害潛勢地圖繪製與應用方法。主要研究內容可分述如下： 1. 蒐集與回顧國內外多空間層級與多重災害潛勢地圖繪製方法與應用經驗文獻； 2. 針對國內常見災害類型，蒐集彙整歷史資料與災害潛勢地圖繪製成果； 3. 提出各類型災害潛勢地圖整合方法，及決定各類災害與地圖組成因素權重； 4. 結合地理資訊系統，繪製多空間層級與多重災害潛勢地圖，呈現災害潛勢與災害分布區位特性； 5. 建構適合國內的多空間層級與多重災害潛勢地圖方法、程序與內容； 6. 選擇案例分析區域（可涵蓋不同天然環境地區），繪製該地區多空間層級多重災害潛勢地圖，檢視其方法論之實用性，及提出操作方法、程序與內容。		
預期成果及效益	1. 彙整國內外多重災害潛勢地圖繪製相關研究之現況、經驗與案例等文獻，進行本土化應用與修正（第一年）； 2. 提出各類型災害潛勢地圖整合方法，及決定各類型災害與地圖組成因素之權重（第一年）； 3. 建構適合國內多空間層級與多重災害潛勢地圖繪製方法、程序與內容（第二年）； 4. 提供國內可行之多空間層級與多重災害潛勢地圖繪製方法，以增進防災空間系統與空間規劃效率，及加強防減災工作之推動（第二年）。		
經費 (單位：千元)	1,000; 1,000	計畫期間	自民國 102 年 01 月 至民國 103 年 12 月止

項次	四		
研究計畫主題	多重災害都市回復力評估與防災空間規劃應用之研究		
研究緣起及研究內容	目前國際上，除關注災害脆弱度之分析外，亦有許多研究開始著手回復力的研究。特別是如何強化社會與空間系統，在災害侵襲的反應與發生後的回復與重建能力，乃目前歐盟、美國、日本等各國政府密切關注之議題。 回復力概念，最早於生態學者引入生態研究領域，並將回復力定義為可以量測系統持續吸收變動和擾動後，維持生態系統關係不變的能力。在災害管理領域，則可視為系統面對災害的恢復、調適力，及受災後的學習改善原有狀態的能力。回復力概念在災害防救與減災工作推動，具有關鍵性地位。尤其是各國政府多極力推動城鄉與社會組織回復力強化工作，包含透過防救災設施規劃、強化吸收災害衝擊的能力，及增強災害調適與回復措施，以提昇與建立災害回復力，及降低災害損失。 目前國內對於如何提昇空間災害回復力相關研究，尤其是如何提昇與協助都市與地區建構多重災害回復力，仍欠缺相關推動機制與策略。目前國外已有相當多研究，分別從減災、整備、應變、重建，及從空間規劃領域，進行回復力分析。特別是建構評估地區多重災害回復力的指標與方法，及應用於都市、地區空間與防救災設施規劃，及災害管理相關工作推動，皆是這些研究關心的議題。 本研究研究目的，在於建置都市地區多重災害回復力評估指標體系，評估與建置多重災害回復力，以應用於防災空間規劃，及協助都市與地區提升從災害回復之能力及降低災害衝擊。主要研究內容，可彙整如下： 1. 回顧國內外多重災害回復力評估相關研究之現況、方法與案例，應用於防災空間規劃等文獻，及協助界定適合國內多重災害回復力定義； 2. 研擬都市多重災害回復力評估指標系統，提出評估方法、程序與內容； 3. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），示範操做研究提出之多重災害回復力評估方法，及說明操作方法、程序與內容； 4. 提出應用都市多重災害回復力評估體系，於防災空間系統與設施（包含防救災設施與相關結構性設施）之規劃與評估應用程序、方法與策略。		
預期成果及效益	1. 回顧與蒐集國內外多重災害回復力評估相關研究之現況、方法與案例，及應用於防災空間規劃等文獻，及定義適合國內都市發展之回復力概念； 2. 完成與建構適合國內都市多重災害回復力評估體系、評估指標與災害回復力量測方法； 3. 提出多重災害回復力評估結果，如何應用於防災空間規劃、防救災設施規劃與評估相關工作之推動，以改善都市脆弱度與降低災害損失風險。		
經費 (單位：千元)	880	計畫期間	自民國 104 年 01 月 至民國 104 年 12 月止

項次	五		
研究計畫主題	因應多重災害之都市防災空間規劃與設施調適力強化策略之研究		
研究緣起 及 研究內容	由於全球環境變遷與極端氣候條件之災害事件衝擊，不但造成大規模災害影響的機率急遽增加，亦造成城鄉發展須面對多重災害的衝擊。故多重災害防救與因應課題，漸成為未來災害防救與災害管理工作推動的核心。在此情境下，很難只依賴傳統的災害管理、調適機制，或政府組織即可有效處理。特別是災害管理會是許多問題交錯的綜合體，包含實質層面的大規模災害衝擊、實質環境脆弱度，及非實質層面的災害資訊提供、預警機制、應變與災害調適，皆是值得探討的課題。 目前《災害防救法》，對於災害預防（或減災）、整備、緊急應變與重建，皆有相關規定。然現有規定，多缺乏清楚界定，此四階段工作需面對的災害類型，及四階段工作的明確關係。故在實際災害防救策略擬定及防災空間系統規劃，多以單一災害及個別擬定四階段工作，做為規劃與策略擬定方式。此種方式，將造成防救災工作難以面對多重災害的衝擊，亦降低災害防救工作的整體效能。 上述課題在防災空間系統與設施規劃的主要挑戰，在於規劃過程多只考慮單一功能，甚至過度強調緊急應變，而忽略災害預防、災害整備與重建，對於提升緊急應變的效能。因而現行災害防救工作之當務之急，即需強化現有防救災設施，在災害預防、整備與重建的災害調適力。此等工作乃是決定防救災設施能否有效支援緊急應變，及面對多重災害與極端災害事件衝擊的關鍵。 近來國內與各國政府，皆極力推動因應全球環境變遷之調適策略，希望能降低災害衝擊與損失。許多研究甚至將調適力視為影響災害脆弱度，及提升回復力的重要因素。換言之，透過災害的有效調適，將有助於降低災害可能衝擊及災後回復工作。而災害調適工作的推動，則亟需從災害預防、整備與重建過程，妥善擬定相關策略，以提升災害調適力。 本研究主要目的，即在於建構因應多重災害之都市防災空間與設施調適力強化策略，透過災害預防（減災）、整備、應變與重建之策略研擬，協助現有防救災空間與設施規劃，提昇災害調適力，以面對多重災害衝擊與降低災害損害與傷亡。基於此目的，主要研究內容包含如下： 1. 回顧國內外防災空間規劃與設施災害調適力建構與評估相關文獻； 2. 檢討目前防災空間與設施規劃、設計與運作之災害調適力相關課題； 3. 建構防災空間與設施關於減災、整備、應變與重建之相關災害調適策略； 4. 透過案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），實際模擬提出之相關調適策略、以瞭解操作方法、程序、內容及可能面臨之困難。		
預期成果及效益	1. 回顧與彙整國內外防災空間規劃與設施災害調適力評估與提升相關文獻，可提供國內防災空間與設施規劃與災害調適運作之參考； 2. 檢討目前防災空間與設施規劃、設計與調適運作相關課題，以提升防災空間系統規劃工作推動； 3. 建構防救災設施關於減災、整備、應變與重建之相關災害調適策略。		
經費 (單位：千元)	1,000	計畫期間	自民國 103 年 01 月 至民國 103 年 12 月止

項次	六		
研究計畫主題	都會區大規模多重災害避難收容場所規劃與配置之研究		
研究緣起 及 研究內容	內政部建研所近年推動都市防災空間系統規劃，提出都市地區防救災設施空間規劃與配置之重要模式。然因全球環境變遷與大規模多重性災害衝擊的可能性大幅提昇，且過去防災空間系統規劃多偏重在中小型都市，與地震防救災設施空間規劃。此在東日本 311 大地震發生後，因大規模地震帶來地表振動破壞外，及引發海嘯帶來巨浪衝擊，接續引發核電廠的爐心熔毀造成輻射外洩的大災害，顯示出災害鮮少為單一災害源與單一受體，而應朝向多重災害危險源與多重受體的綜合效應評估。 國內防救災空間系統規劃相關研究中，較少針對大型與人口稠密區域，可能面對的多重危險、多途徑、多受體與多地點的角度，綜合評估區域的災害風險，導致災害風險分析或評估侷限在單一災害認定的困境中，而降低防災空間規劃的實用性。特別是在五都成立後，大型都會區之人口聚集與稠密處，這些地區可能對於災害衝擊敏感度會提昇，而大幅提昇災害脆弱度。如發生大規模災害（如大規模地震）或多重性與複合型災害，可能造成避難收容處所的需求，遠超出目前規劃容量。故在防災空間系統規劃過程，亟需提出相對應的規劃、設計與區位配置策略，甚至須提出相對應的配套措施，以滿足未來大規模多重性災害防救工作推動的需求。 目前在國際上，對於都會與超大都市的防災與緊急應變設施規劃，有許多規劃與研究成果。特別是對於能滿足大量需求的避難收容設施規劃與設計，以面對大規模多重災害的衝擊，乃防災空間規劃與災害調適策略擬定的核心議題。因而本研究主要目的，在於因應未來全球氣候變遷與大規模多重災害衝擊，針對大量人口聚集與人口稠密之都會區，提出災害避難收容處所的規劃、設計與區位配置之方法、規劃策略與評估內容。基於上述研究目的，本研究主要計畫之內容可歸納如下： 1. 回顧與彙整都會區大規模多重災害，避難收容處所規劃設計與區位配置方法、規劃程序及相關經驗文獻； 2. 提出適合台灣本土都會區大規模多重災害避難收容處所規劃、設計與區位配置之方法、程序與內容； 3. 檢討目前都會區避難收容處所規劃、設計與配置課題； 4. 透過案例分析，操做提出之避難收容處所規劃、設計與區位配置方法，以瞭解操作程序及面臨之議題。		
預期成果及效益	1. 回顧與彙整都會區大規模多重災害，避難收容處所規劃設計與區位配置方法、規劃程序及相關經驗文獻，提供國內防災空間系統規劃之參考； 2. 建構適合台灣本土都會區大規模多重災害避難收容處所規劃、設計與區位配置之方法、程序與內容； 3. 檢討都會區避難收容處所規劃、設計與配置課題，提升防災空間規劃效能； 4. 透過都會區大規模多重災害避難收容處所規劃、設計與區位配置方法，可提升災害緊急應變、整備、回復與調適能力，以降低災害傷亡。		
經費 (單位：千元)	1,100	計畫期間	自民國 106 年 01 月 至民國 106 年 12 月止

項次	七		
研究計畫主題	日夜間人口估計與多重災害防災空間系統規劃應用		
研究緣起 及 研究內容	人口規模、密度與空間分布特性，為推估防救災設施需求規模與人員傷亡之基礎。尤其在多重災害影響下，進行防救災設施需求與傷亡人口估計，需進行之基本分析包含：(1)日夜間人口數量、分布與密度估計；(2)人口分布與土地使用類別之對應關係；(3)各種災害衝擊與防救災設施需求。其中日夜間人口數量、組成與分布為核心分析事項，且亟需在面對多重災害衝擊，提出可行的估計方法與內容，以支援多重防災空間規劃、災害緊急應變與災害調適工作。 目前國內之夜間人口分布估計，主要依戶籍資料粗略推估。內政部營建署「都市發展總量管制之研究」，曾應用人口總量引力模式，及配合行政院經濟建設委員會，應用世代生存法進行台灣地區人口總量推估及人口分派。惟現行的估計方法與成果主要針對全台，再分派到各縣市與各鄉鎮市。此估計方法可能產生顯著誤差。 在日間人口分布估計，相關研究較少。現有研究主要偏重在，不同土地使用型態之人口數量及組成關係之估計。此估計結果欲應用於防災空間規劃，仍有許多困難待突破。尤其為利於多重災害防救設施規劃與緊急應變工作推動所需，亟需針對日間人口數量、密度、組成與分布提出本土化之估計方法。尤其是研究成果需可應用於災害傷亡推估、防救災設施需求估計與防災空間規劃。 目前在日夜間人口估計，及應用於多重災害防災空間規劃與設施需求分析，在各國已有一些分析成果，但在國內仍屬於初始階段。特別是將日夜間人口分析成果，妥適的應用於防災空間規劃、脆弱度降低與災害調適力的提昇，乃本研究之分析重心。故可將相關研究內容說明如下： 1. 回顧國內外日夜間人口估計方法與應用於防救災空間規劃之相關文獻與經驗； 2. 提出日夜間人口數量、密度、分布與組成分析，應用於防災空間規劃之可行方法與內容； 3. 提出適合本土化之日夜間人口估計，及多重災害傷亡與防救災設施需求估計之相關應用方法與程序； 4. 應用案例分析，示範與說明研究提出方法之應用程序、內容與方法，及建立相關圖資資料庫。		
預期成果及效益	1. 彙整國內外日夜間人口推估研究現況、案例等成果，進行本土化應用與修正，提供傷亡評估、防救災設施需求估計參數修正； 2. 提出日夜間人口數量、密度、分布與組成分析，應用於防災空間系統與設施規劃之方法與內容； 3. 提出日夜間人口應用於多重災害傷亡與防救災設施需求估計之應用方法。		
經費 (單位：千元)	800	計畫期間	自民國 102 年 01 月 至民國 102 年 12 月止

項次	八		
研究計畫主題	地震引發複合災害之防救災設施規劃與需求評估		
研究緣起及研究內容	防救災設施的需求特性與需求量估計，是檢討防災空間規劃之地區防救災資源與設施供給狀況的基礎。目前許多地震損害估計模型，可應用於模擬地震可能造成的衝擊與損害評估。但多數研究仍較偏向估計地震單一災害引發的衝擊與損害，而較少討論地震引發複合型災害（例如火災、坡地災害），可能造成之衝擊與損害。特別是在 2011 年日本 311 東日本地震發生後，地震引發複合型災害，造成的防救災設施規劃、評估與需求估計，乃成為各國防災空間與設施規劃的核心議題。 過去許多研究多透過地震災損調查，依照地震損害項目，分析受損原因及其與地震損失關係，建置災損估計模型。再透過假設之地震事件，計算伴隨因地盤搖動產生損害與土壤液化，推算可能引發之火災與相關災害，及估計建物損害、維生管線與交通損害等。藉由這些估計，可瞭解與分析地震引發相關複合型災害，可能需要之相關防救災配合規劃策略，及相關之防救災設施（例如，庇護所、救災與避難交通系統、救災物資配送系統、緊急醫療救助等）需求分析與合適性評估。然目前國內相關研究與實務應用仍非常稀少，而值得提出本土化之估計方法、程序與內容。 綜合以上說明，本研究主要目的，在於希望發展本土之地震引發複合型災害，相關災害損失與防救災設施需求估計方法、程序與內容。分析成果除可應用於多重災害防災空間系統規劃外，亦可支援地震災害緊急應變、整備與調適政策擬定。對於提升城鄉發展安全及國土保安，具有急迫性與必要性。以下可進一步歸納研究內容如下： 1. 回顧國內外地震引發複合型災害損害與防救災設施需求估計方法、程序與經驗； 2. 檢討國內地震損害估計與應用於複合型防救災設施需求評估與分析之課題； 3. 提出適合本土地震引發複合型災害損害估計方法、估計程序與內容，及提出應用於防救災相關設施需求評估與估計之方法、估計程序與內容； 4. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），提出本研究分析成果，應用於防災空間規劃之方法、程序與內容。		
預期成果及效益	1. 回顧國內外地震引發複合型災害損害與防救災設施需求估計方法、程序與經驗（第一年）； 2. 建構地震引致複合型災害之防救災設施需求估計項目與方法(第一年)； 3. 地震引發多重災害之防救災設施需求估計之本土化參數修正(第二年)； 4. 提出地震引發複合型災害損害與設施需求估計分析，應用於防災空間規劃、整備與災害調適應用方法、程序與內容（第三年）。		
經費 (單位：千元)	1,000; 1,000; 1,000	計畫期間	自民國 102 年 01 月 至民國 104 年 12 月止

項次	九
研究計畫主題	颱風引發複合型災害之防救災設施規劃與需求評估
研究緣起 及 研究內容	防救災設施的需求特性與需求量估計，是檢討規劃地區防救災資源與設施供給狀況的基礎。國內歷年颱風災害災損評估相關研究，主要包含：颱風災損失評估模型建置、區域洪災風險評估系統開發，及河川流域洪災災損機率風險分析。然目前洪災引發相關衝擊與損失評估，由不同單位分別進行，如農委會農業損失金額統計、消防署天然災害數量統計等，較缺乏跨域與整合性洪災引發相關災害損害與損失，造成防災空間與減災規劃的應用受到侷限。 另因目前國內尚缺乏整體颱風損害評估方法，故建置臺灣本土颱風災損評估系統，除可提昇颱風損失評估之效率，該系統如能結合地理資訊系統(GIS)技術及近年颱風災害損失資料，發展洪水及引發相關災害（如坡地災害）之損害估計模式，將有助於估計與評估相關防救災設施需求（例如，避難場所、醫療救助設施等）。另此系統亦有助於進行災前災害規模境況模擬、防災空間規劃與空間配置（例如，緊急應變中心、避難、醫療、救災、物資、救災與避難路徑系統之規劃與空間配置）與需求分析、成本效益分析(可進行防洪及坡地災害治理工程之成本效益分析)、災後損失快速評估(例如，水災損失評估、坡地災損評估)，以提昇颱風災害緊急應變與相關調適。 國外對於颱風或洪水引發複合型災害之防救災設施需求估計，已有一些研究成果。相關損失與評估項目，包含：直接損失（例如，資產損失、農產物損失、公共土木設施等損失）、人員傷亡、重要設施損害、間接損害（例如，勞動損失、二次與間接損害等）。這些損失估計，亦應用於防救災設施規劃與設施需求分析。國內由於受到氣候變遷與極端氣候事件愈來愈頻仍的影響，非常需要建立本土颱風災害損害評估，及防救災設施需求評估系統，利於進行後續都市防災空間規劃，及相關災害調適政策研擬，以降低颱風災害相關損失與風險。 本研究主要目的，在於建立颱風災害引發複合型災害損失，與防救災設施需求評估系統。透過此系統的建置，提出適合台灣環境之颱風災害引發複合型災害之損失評估與設施需求估計，及相關之評估方法、程序與內容。進一步之研究內容可說明如下： 1. 回顧國內外颱風引發複合型災害損害，與防救災設施需求估計方法、程序與經驗； 2. 檢討國內颱風災害損害估計與應用於複合型防災設施需求評估與估計之課題； 3. 提出適合本土颱風引發複合型災害損害估計方法、估計程序與內容，及提出應用於防救災相關設施需求估計之方法、估計程序與內容； 4. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），提出本研究分析成果，應用於防災空間規劃之方法、評估之程序與內容。

預期成果 及效益	1. 回顧國內外颱風引發複合型災害損害與防救災設施需求估計方法、程序與經驗（第一年）； 2. 建構颱風引發複合型災害之防救災設施需求估計項目與方法（第一年）； 3. 颱風引發多重災害之防救災設施需求估計之本土化參數修正（第二年）； 4. 提出颱風引發複合型災害損害與設施需求估計分析，應用於防災空間規劃、評估與災害調適應用方法、程序與內容（第三年）。		
經費 （單位：千元）	1,000; 1,000; 1,000	計畫期間	自民國 102 年 01 月 至民國 104 年 12 月止

項次	十
研究計畫主題	地震引發海嘯之防救災設施規劃與需求評估
研究緣起及研究內容	日本於 311 東日本震災後，因應地震與海嘯產生的複合型災害衝擊(包含地震、洪水、污染、科技災害等)，及其緊急應變策略與災害調適措施，成為國內災害防救工作推動之嶄新且重要課題。目前海嘯相關研究，應用於防救災設施與緊急應變規劃，主要考慮因素包含：(1)空間屬性，如年齡、步行速度、障礙、防災意識等；(2)道路阻塞率；(3)疏散行為模式等，以進行綜合性防災策略與緊急應變措施評估。另有些研究，亦針對海嘯災害資訊提供與緊急疏散預警系統，如何有效結合海嘯警報與海嘯防災地圖，快速提供可靠且易於辨別之資訊，及協助瞭解警報發佈與避難行為之關係與相關影響因素，提供相關之決策支援。 就國內現況而言，針對地震與海嘯引發相關複合型災害衝擊，須針對可能出現的災情與地震，檢討現行防救災與防災空間規劃策略。相關工作內容包含：災害資訊蒐集，評估現行防救災設施空間配置與土地使用型態，及因地制宜製作海嘯災害潛勢地圖，以利於推動地震與海嘯引發相關災害之緊急應變與災害調適工作。 國內對於海嘯預警與相關防救災空間規劃，及相關防救災設施評估與需求分析，仍缺乏深入與具體對策。根據國內研究機構分析，台灣對於來自中國海的海嘯威脅尤其不可輕忽。故建置台灣本土地震與海嘯引發複合型災害相關損害評估，及相關防災空間規劃與防救災設施需求評估與估計，乃當前災害防救工作，重要且亟需積極推動之議題。 綜合以上說明，本研究主要目的，在於希望發展本土地震與海嘯引發複合型災害，相關災害損失與防救災設施需求估計方法、程序與內容。分析成果除可應用於多重災害防災空間規劃外，亦可支援地震與海嘯災害緊急應變與調適政策擬定。對於提升城鄉發展安全及國土保安，具有急迫性與必要性。以下可進一步歸納研究內容如下： 1. 回顧國內外地震與海嘯引發複合型災害損害與防救災設施需求估計方法、程序與經驗； 2. 檢討目前地震與海嘯損害估計與應用於複合型防災設施需求評估與分析之課題； 3. 提出適合本土地震與海嘯引發複合型災害損害估計方法、估計程序與內容，及提出應用於防救災相關設施需求評估與估計之方法、程序與內容； 4. 應用案例分析，提出本研究分析成果，應用於防災空間規劃方法、程序與內容。
預期成果及效益	1. 回顧國內外地震與海嘯引發複合型災害損害與防救災設施需求估計方法、程序與經驗(第一年)； 2. 檢討目前地震與海嘯損害估計與應用於複合型防災設施需求評估與分析之課題，提供相關政策調適與改建之參考(第一年)； 3. 建構地震與海嘯引發複合型災害評估方法與程序(第二年)； 4. 提出地震與海嘯引發複合型災害損害與設施需求估計分析，應用於防災空間系

	統規劃與災害調適應用方法、程序與內容（第二年）。		
經費 （單位：千元）	800；900	計畫期間	自民國 103 年 01 月 至民國 104 年 12 月止

項次	十一
研究計畫主題	多重災害避難收容據點規劃及其適宜性評估
研究緣起 及 研究內容	依據災害防救法及內政部推動之災害防救深耕計畫，皆亟需對災害緊急應變與避難設施，進行妥適規劃，及針對其適宜性提出評估策略。特別在 2009 年莫拉克風災及 2011 年東日本地震發生後，許多既有防災空間系統規劃、避難設施與相關緊急應變設施，皆面臨須重新評估，其在面對大規模多重災害衝擊之適宜性課題。此課題尤其對於快速都市與城鄉發展地區，如何提出妥適的災害防救、應變與減災措施，以面對多重災害衝擊，乃非常重要且具有急迫性。 許多研究指出，一些劃設為避難與收容處所，常與其被指定成避難所的防災機能產生不一致性。例如，有些災害避難收容處所平時具有其他用途，且多不具備應有之救災物資儲備倉庫及通信設備整備等。有些處所或設施之建築物及構造物（例如，指定為避難收容中心之學校或活動中心），則無法確保耐震等結構安全要求。除用地確保外，有些防救災設施亦可能位於高災害潛勢地區，或相關避難路線與交通可及性較為不足。這些課題皆會因未來大規模災害，或多重災害衝擊機率增加，而亟需對防救災設施規劃與現有設施評估，提出對應策略與進行設施適宜性評估。 另由於氣候變遷、極端氣候事件及大規模多重性災害頻仍的衝擊，各國亦開始檢視現有災害緊急應變計畫。許多國家與研究皆發現，原有計畫多低估災害的衝擊，特別在多重災害或大規模災害發生，可能造成原有防救災設施，無法容納民眾疏散計畫與相關緊急應變工作推動所需。故國內之防災空間系統規劃與防救災設施，亦須重新檢視與評估，評估內容需包含：避難圈域劃設標準，及警察、消防、醫療、物資集散、避難收容設施等防災據點等，以面對未來多重性、複合型與大規模災害可能造成的衝擊。 本研究主要目的，在於面對多重與大規模災害衝擊，對於現有防災空間系統規劃內容，及防救災設施進行評估與檢討，以提出這些設施的適宜性及可行因應與改善策略。主要研究內容，包含以下層面： 1. 回顧國內外防災空間系統規劃與防救災設施評估之相關文獻、規劃經驗與案例； 2. 依多重災害潛勢與暴露特性，提出評估防救災設施位置適宜性之評估準則與指標； 3. 提出各項防救災交通系統的阻斷風險評估方法，包含可及性、有效寬度、高度、道路現況等評估工作之準則與指標； 4. 提出現有設施建物耐災力評估，包括建物或據點的結構，據點通達性與安全性評估，並估計實際可供避難之有效面積，與可應用資源狀況評估方法、準則與指標； 5. 透過案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），提出本研究評估方法操作方法、程序與內容。

預期成果 及效益	1. 回顧國內外防災空間系統規劃與防救災設施評估之方法、評估準則與相關經驗，提供相關決策參考； 2. 提出多重災害防救災據點規劃與配置(包含避難收容處所、警察、消防、醫療等防災據點設施)之合適性評估準則、指標系統、方法與程序； 3. 提出避難救災路徑劃設與評估準則與標準； 4. 提出防救災設施建築物與構造物安全與耐災力評估準則、指標系統、方法與程序。		
經費 (單位：千元)	1,100	計畫期間	自民國 103 年 01 月 至民國 103 年 12 月止

項次	十二
研究計畫主題	社區導向多重災害潛勢地圖製作與防災設施規劃與整備、應變之應用分析
研究緣起 及 研究內容	英國風險管理顧問公司(Maplecroft, 2012)，針對國家經濟面對天災時的風險狀況所提出之「天然災害風險圖解集 (Natural Hazards Risk Atlas)」，其中考量地震、火山、海嘯、暴風雨、洪水、山崩等天災，對全球 196 個國家做出排名，若單以計算絕對價值(以美元計價的天災整體損失)，台灣排名第四，被列為「極高危險」地區。 鑒於近年來重大災害日漸頻繁，各級政府對災害防救工作之重要性愈來愈重視，對於防救災圖資需求亦愈加提高。目前政府災害防救相關單位，積極推動災害潛勢地圖（如洪災、土石流等）、防災地圖的製作與發佈，及推動地區災害防救計畫、防災空間系統計畫擬定等，以藉之協助災害緊急應變、預警機制與城鄉災害防救體系的建置。然目前災害潛勢地圖製作，仍以政府與專家導向為主，較少納入社區居民需求與整合社區防救設施規劃、設計，與災害整備、應變程序與行為特性。 目前日本、歐盟與美國，皆在推動多重災害潛勢與風險分析。主要目的在於提供防災空間系統、災害整備、應變與城鄉規劃，關於規劃地區可能面對的主要災害類型與衝擊，以納入規劃與評估程序中考慮。故皆在積極開發多重災害潛勢與風險評估，及進行多重災害潛勢與風險地圖之繪製。國內為強化全台縣市與鄉鎮區災害潛勢圖資整備與應用，國家災害防救科技中心乃積極整合與加值產製相關部會之各類災害潛勢圖資共 1,119 幅，惟仍以單一災害潛勢進行圖資製作，尚缺乏多重災害潛勢與災害潛勢地圖製作，及有效整合社區防救災設施規劃、設計與應變。因而目前國內亟需進行多重災害潛勢地圖之整合，及強化這些防災地圖，於社區防災空間規劃與防救災設施規劃、設計，及災害整備與應變的相關應用，以降低災害損害與風險。 綜合上述，本研究主要目的，在於推動多重災害潛勢與相關風險地圖製作，及透過製作結果，應用於社區防災空間系統、防救災設施規劃、設計、評估，及災害整備與應變相關工作推動，以利於擬定高災害潛勢與高脆弱度地區的減災與災害調適政策。本研究工作內容，可進一步說明如下： 1. 回顧國內外社區多重災害潛勢與風險地圖製作、評估與相關應用之文獻與經驗； 2. 蒐集與檢討國內現有各項災害潛勢地圖，及應用於社區防災與整備、應變之現況與相關課題； 3. 提出社區多重災害潛勢與災害風險地圖製作方法與程序，及應用於社區防救災設施規劃、設計、整備與應變之方法與內容； 4. 透過案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），透過提出之多重災害潛勢與風險地圖製作方法與程序，應用於防災設施規劃、設計、整備與應變。

預期成果 及效益	1. 彙整與回顧國內外社區多重災害潛勢與風險地圖製作、評估與相關應用之文獻與經驗，做為社區防災政策擬定之參考（第一年）； 2. 蒐集與檢討國內現有各項災害潛勢地圖，及應用於社區防災與整備、應變之現況與相關課題，以提供政策改善之參考(第一年)； 3. 提出社區多重災害潛勢與災害風險地圖製作方法與程序（第二年）； 4. 提出社區多重災害潛勢地圖，應用於社區防救災設施規劃、設計、整備與應變之方法與內容（第二年）。		
經費 （單位：千元）	900；1,200	計畫期間	自民國 104 年 01 月 至民國 105 年 12 月止

項次	十三
研究計畫主題	多重災害防救災空間系統規劃
研究緣起 及 研究內容	防災規劃於居住、開發、建設等發展應避開高風險地區，且需全面性思考多重災害衝擊，以提出因應與調適策略。尤其是從國家全災害（all-hazards）防救思維，提出合理可接受之多重災害情境及應用於防災空間系統、防救災設施規劃與安全評估，以提升國內多重災害管理機制與因應能力，及降低災害損失與風險。 大規模多重災害發生，往往其災害程度與規模會超過地方政府的災害應變能力，甚至遠超過過去經驗與防災演練能預設情境，而造成災害因應、緊急應變與調適的困難。尤其縣市合併後之五都，在缺乏極端重大事件後的協援機制下，恐因整編合併致行政區域擴大，合併後之縣市亦會因災害類型不同，導致缺乏相關救災經驗，及須同時面對多重災害之衝擊。故完善多重災害災前減災計畫、防災空間規劃與相關防救災設施規劃與評估，並落實於空間計畫上，將可有效提昇大規模災害之緊急避難、物資調度、運送、儲備等相關災害回應與緊急應變，及其後續重建與回復作業。 多重災害防災空間系統規劃，需納入災害風險與脆弱度分析決策支援工具，系統性分析規劃區災害風險情境與防救災資源需求的估計成果，以助於提升都市與空間規劃資源配置的效率。然欲建立完整的多重災害防救災空間系統規劃架構與項目，需涵蓋：(1)整體目標、策略、與制度架構；(2)災前整備；(3)災時緊急應變，與(4)災後回復等項目。然目前這些規劃內容，仍較偏重單一災害模式，可能造成在大規模多重災害來襲，無法妥善因應，而造成龐大災害損失風險。 由於防災空間系統與防救災設施規劃，需將影響防救災資源需求之不同類型災害潛勢與風險因子，及其可能影響範圍同時列入考量。避免規劃時將防救災設施，置於高災害潛勢與高災害危險源影響範圍內，導致都市發展風險的增加。尤其是不同地區，災害潛勢影響因子特性與影響範圍乃因地而異，在進行地區的災害環境分析時，皆需納入防救災空間系統需求分析之考量。然現有不管是都市規劃或防災空間系統規劃，皆較缺乏從多重災害角度，進行災害特性、損失與風險評估、災害設施需求分析，及進行實務空間規劃操作。造成相關規劃成果，難完整因應未來可能之全球環境變遷與多重災害衝擊，而可能產生災害管理工作困境與高度災害損失。 本研究主要目的，在於將多重災害潛勢與風險，納入防災空間系統與防救災設施規劃，以提供地方或城鄉發展更具全災性的災害風險管理機制，降低災害損失與風險。具體研究內容包含： 1. 回顧國內外多重災害防災空間系統與防救災設施規劃方法、程序與相關經驗； 2. 檢討現行防災空間系統規劃與防救災設施規劃之課題； 3. 完成多重災害防災空間系統規劃架構，及建立各項防救災設施規劃準則、規劃方法與程序； 4. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），實際操做提出之規劃方法、程序與

	事項。		
預期成果 及效益	1. 彙整與回顧規劃國內外多重災害防災空間系統與防救災設施規劃方法、程序與相關經驗（第一年）； 2. 檢討現行防災空間系統規劃與防救災設施規劃與設計之課題（第一年）； 3. 擬定多重災害防救災空間系統規劃架構，及規劃方法、程序與內容，供國內相關防災空間規劃決策參考（第二年）； 4. 提出各項防救災設施規劃準則、規劃方法與內容（第二年）。		
經費 （單位：千元）	1,200; 1,200	計畫期間	自民國 105 年 01 月 至民國 106 年 12 月止

項次	十四
研究計畫主題	大規模與多重災害防救災設施評估系統建構與應用
研究緣起 及 研究內容	由於全球環境變遷、極端災害事件的衝擊與及快速都市化，造成暴露在高度災害威脅的人口與地區迅速擴大。此課題對於地方與都市空間規劃與災害管理，形成巨大挑戰。特別是大規模與多重性災害，對傳統都市空間防災規劃系統的衝擊，將使災害管理工作必須思考，如何有效因應大規模與多重性災害發生後的應變、救災與回復。特別是如何有效提升政府與居民的災害調適力，降低災害衝擊與災害損失，及有效率分配防救災資源，乃成為災害管理單位的重大課題。 過去國內曾依據《災害防救法》推動地區災害防救計畫之擬定，內政部建築研究所亦曾推動許多地區之防災空間系統規劃。但這些計畫常較偏重單一及一般性災害。對於大規模多重性或複合性災害的衝擊，是否能有效因應，及發揮此等設施的防救災效能，將是決定防災設施與規劃是否合適的重大關鍵。此課題隨著災害規模的擴大與災害性質的多元與複雜化，使傳統的單一災害分析或災害防救模式，已難完全涵蓋。因其涉及的災害危害、風險與衝擊，甚至造成的災害設施需求與使用，皆隱含高度不確定性與複雜性。 為因應上述衝擊，國外許多政府的災害防救空間規劃與相關研究，皆投入大量資源進行防災系統與設施（包含防救災設施與相關結構性設施）的評估與檢討，以助於規劃與設計，及改善既有防災規劃與相關設施，以面對大規模與多重性災害的可能衝擊。特別是為提升地方或社區城鄉規劃與城鄉發展的災害防救與災害調適力，多透過風險導向的規劃模式，整合防災空間系統與防救災設施規劃，特別強調對於「高損失—低機率」災害的整備與應變，以降低災害損害與衝擊。 在上述趨勢下，國內既有防災空間系統規劃，與相關防救災設施：緊急應變中心、避難收容處所、避難救災交通系統、救災物資配送系統、醫療、消防、警察等設施與處所，皆面臨須重新評估與檢討如何面對大規模與多重性災害的衝擊。尤其需重新建立災害風險導向，合適的評估指標體系、方法與項目，重新評估與檢視防災空間與設施規劃內容，能否因應大規模與多重性災害的衝擊。 本研究主要目的，在於將大規模與多重災害潛勢與風險，納入防災空間系統與防救災設施規劃與評估，以建構防救災空間與設施規劃評估系統，及評估方法、程序與內容。具體研究內容包含： 1. 回顧國內外大規模與多重災害防災設施（包含防救災設施與相關結構性設施）規劃、設計、評估方法、程序與相關經驗； 2. 檢討現行防救災設施規劃與設計之課題，包含緊急應變中心、避難收容處所、避難救災交通系統、救災物資配送系統、醫療、消防、警察等設施之規劃現況與相關課題； 3. 建構大規模與多重災害防救災設施規劃與設計評估系統，包含評估指標體系建置，及提出評估方法、程序與事項與設計準則； 4. 應用案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），實際操做提出之評估指標體系、評估方法、程序與事項。
	1. 彙整與回顧國內外大規模與多重災害防災設施規劃、設計、評估方法、程序與相關經驗，供國內相關制度與政策擬定之參考；

預期成果 及效益	2. 檢討現行防救災設施規劃與設計之課題，包含緊急應變中心、避難收容處所、避難救災交通系統、救災物資配送系統、醫療、消防、警察等設施與處所之規劃現況，以助於防災空間規劃內容之改善； 3. 建構大規模與多重災害防救災設施規劃與設計評估指標體系、評估方法、程序與事項，以及設計準則，以提供國內建立防救災設施規劃、評估與設計準則擬定之參考。		
經費 (單位：千元)	1,200; 1,200	計畫期間	自民國 105 年 01 月 至民國 106 年 12 月止

項次	十五
研究計畫主題	因應大規模多重災害都市建物與社區安全評估系統建置
研究緣起及研究內容	在 2009 年莫拉克風災與 2011 年東日本地震發生後，對於現有社區與建物是否暴露在高災害潛勢地區？現有社區與建物是否能面對極端氣候與大規模多重性災害衝擊？及是否具有可有效降低災害損失與風險之策略？皆是值得關注的課題。 近年由於迅速的都市化與都會的快速擴張，造成眾多高災害潛勢地的過度開發，及都市與土地開發暴露在高度及多重災害之威脅，而使許多都市發展的脆弱度高度提昇。根據 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) 第三次氣候變遷評估報告，界定脆弱度的組成因素為：暴露、敏感度與調適力。特別是暴露與敏感度，是評估實質脆弱度的重要切入點。實質脆弱度（主要指天然環境（如地形、地質等）的脆弱度）是許多國家或都市，評估都市發展與災害暴露與互動關係，及檢驗都市發展與社區開發潛在災害損害風險與安全性的重要關鍵。 目前國際上，不管是歐盟、美國或日本，皆投注大量資源進行都市與社區災害潛勢、風險與安全之評估與檢視。尤其是特別關注哪些社區暴露在高災害威脅？有哪些災害威脅類型？社區發展與住宅開發是否安全具有耐災力？是否有足夠的災害因應與應變體系等？皆是進行地區災害防救的重要基礎工作。就國內目前發展狀況而言，雖然國內近年亦致力於災害潛勢地圖製作與地區災害防救計畫擬定，但一直缺乏從社區、建物與土地開發角度，檢視與評估社區發展與建物開發，面對多重災害衝擊的脆弱度、安全性與耐災力。 基於上述背景，國內為面對極端氣候與大規模多重性災害衝擊，亟需建立社區與建物開發脆弱度、安全性與耐災力之評估指標體系、評估方法、程序與內容。故本研究主要目的，在於建立國內都市與社區，面對極端氣候與大規模多重性災害衝擊，社區與建物之脆弱度、安全性與耐災力之評估指標體系、評估方法、程序與內容，以做為災害管理與建物安全評估與管理決策之參考。主要研究內容，包含以下層面： 1. 回顧國內外關於評估社區與建物開發脆弱度、安全性與耐災力評估之相關文獻與經驗； 2. 提出評估社區與建物暴露在多重災害潛勢之評估架構、評估方法、程序與內容； 3. 依各類社區與建物之不同災害潛勢與災害暴露特性，提出評估社區與建物脆弱度、安全性與耐災力評估指標體系、評估方法、程序與內容； 4. 檢討現有社區與建物安全與耐災力之課題； 5. 透過案例分析（可涵蓋不同天然環境地區），操做本研究提出之評估方法、程序與內容。
預期成果及效益	1. 回顧國內外關於評估社區與建物開發脆弱度、安全性與耐災力評估之相關文獻與經驗，以提供相關政策擬定之參考（第一年）； 2. 提出評估社區與建物暴露在多重災害潛勢之評估架構、評估方法、程序與內容，以提昇國內社區與建物開發之安全性與降低災害損失風險（第二年）；

3. 依各類社區與建物之不同災害潛勢與災害暴露特性，提出評估社區與建物脆弱度、安全性與耐災力評估指標體系、評估方法、程序與內容，提供建置安全都市與社區政策之參考（第三年）；			
4. 檢討現有社區與建物安全與耐災力之課題，做為城鄉規劃與建築管理決策之參考（第三年）。			
經費 （單位：千元）	1,200; 1,200; 1,200	計畫期間	自民國 103 年 01 月 至民國 105 年 12 月止

參考書目

1. 中谷友樹(2006)，DMSP/OLS による「街の灯り」のセンサス—夜間地上光画像による人間活動強度の推定をめぐって，
(<http://www.ritsumeai.ac.jp/acd/cg/lt/rb/593PDF/nakatani.pdf>)。
2. 日本東京都世田谷區防災會議(2000)，世田谷區地域防災計畫，東京都，日本。
3. 王价巨、單信瑜、馬士元、陳俐樺、林立潔(2011)，臺灣現行防災地圖的類別、製作與應用概況探討，消防月刊，2011 年 10 月刊。
4. 包昇平 (2004)，都市防災避難據點適宜性評估之研究-以嘉義市為例，國立成功大學都市計劃研究所碩士論文。
5. 尾関 信行(2008)，大規模水害時の人的被害の推定について，
(<http://jice.or.jp/oshirase/200809250/03-sekiguchi.pdf>)。
6. 何明錦、李威儀(2000)，都市計畫防災作業規劃手冊彙編，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
7. 何明錦、洪鴻智(2002)，應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
8. 何明錦、洪鴻智(2004)，都市地震防災空間系統規劃與 HAZ-Taiwan(TELES)系統應用整合之研究：子計畫二—新竹市之防災空間系統規劃，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
9. 何明錦、洪鴻智(2007)，都市防災空間系統手冊彙編增修，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，新北市新店區。
10. 何明錦、黃健二(2006)，頭份鎮竹南鎮都市防災空間系統規劃示範計畫，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
11. 葉世文、王聖銘(2005)，台東市都市防災空間系統規劃示範計畫，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
12. 何明錦、洪鴻智(2005)，桃園縣龍潭石門地區都市防災空間系統規劃示範計畫，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
13. 何明錦、洪鴻智、陳建忠、陳令韡、簡長毅、陳素櫻、王暉堯(2009)，綜合性地震脆弱度與災害風險評估：以新竹市為例，建築學報，**70**: 111-126。
14. 李威儀、錢學陶、李咸亨(1997)，台北市都市計畫防災系統之規劃，台北市政府都市發展局委託，台北。
15. 李威儀、丁育群(2003)，都市防災及災後應變研究計畫(子計畫一)：都市防災規劃手冊研修及辦理中日交流研討會，內政部建築研究所研究計畫成果報告。

告，新北市新店區。

16. 李泳龍、何明錦、戴政安、黃宗誠 (2007)，以居民觀點探討地震防災空間系統架構-以新化鎮為例，發表於 2007 年全國土地管理與開發學術研討會，長榮大學土地管理與開發學系暨研究所主辦，台南。
17. 李泳龍、周士雄、戴政安(2009)，都市震災臨時避難據點區位與服務圈域關係分析—永康市為例，建築學報，第 67 期，頁 149-168。
18. 李香潔等(2011)，縣市層級人口結構推估方法及其在防減災上的意義，災害防救電子報，第 66 期，國家災害防救科技中心。
19. 吳杰穎、黃昱翔(2011)，颱風災害脆弱度評估指標之建立：以南投縣水里鄉為例：**38(2)**:195-218。
20. 吳水威(2001)，都市地區地震防救災交通系統之交通管制緊急應變計畫之研究，國立交通大學碩士論文。
21. 許明禎、林晏州 (2001)，民眾對公園綠地防災機能認知與避難行為傾向之探討，都市與計劃，**28(2)**: 237-251
22. 陳亮全、洪鴻智、詹士樑、簡長毅(2003)，地震災害風險-效益分析於土地使用規劃之應用：應用 HAZ-Taiwan 系統，都市與計劃，**30(4)**: 281-299。
23. 陳建忠、林峰田(2003)，HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討(二)：日間避難人數推估模式之建立，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市新店區。
24. 陳建忠、文一智(2006)，民雄鄉都市防災空間系統規劃示範計畫，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，新北市。
25. 陳建忠、洪鴻智(2008)，台北縣三重市都市防災空間系統規劃應用示範計畫，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，新北市新店區。
26. 陳建忠、洪鴻智(2010)，土城市都市防災空間系統規劃示範計畫，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，新北市新店區。
27. 林峰田、林士弘 (2003)，城鄉防災之人口空間結構發展模擬，發表於中華民國都市計劃、區域科學、地區發展學會 2003 年度聯合年會暨論文研討會，中華大學，新竹。
28. 林楨家、謝瓊慧(2003)，以覆蓋模式分析震災臨時避難場所之配置規劃，都市與計劃，**30**: 325-346。
29. 胡幼慧(1996)，質性研究：理論、方法及本土女性研究實例，巨流圖書公司，台北市。
30. 洪鴻智、詹士樑(2001)，都市地區有效避難路線與救災路徑評估方法之研究(III)：與HAZ-Taiwan整合應用，內政部建築研究所研究計畫成果報告，台北。

31. 洪鴻智、陳羚怡(2007)，洪災風險評估與災害風險稅課徵—以台北市為例，*台灣土地研究*，**10(2)**：95-125。
32. 洪鴻智、陳一杰、簡長毅(2008)，土地使用變遷之地震風險分析—以新竹市為例，*都市與計劃*，**35(4)**：359-378。
33. 洪鴻智(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—各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估方法研究(I)，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。
34. 洪鴻智(2010)，災害防救與災害風險管理：舊思維的挑戰，*建築與規劃學報*，第 10(3): I-IV。
35. 洪鴻智、王翔榆(2010)，多元性區域環境風險評估：以陽明山國家公園為例，*都市與計劃*，**37(1)**: 97-119。
36. 洪鴻智、呂銘哲(2010)，「極端氣候條件下曾文溪流域颱風災害脆弱度與風險分析：巨災模型之應用」，發表於2010年臺灣災害管理研討會，臺灣災害管理學會主辦，台北市。
37. 洪鴻智、劉怡君、簡頌愷、陳亮全 (2011)，「颱風災害損失與地區脆弱度：莫拉克颱風為例」，發表於2011年茂林國家風景區管理處10週年慶暨莫拉克颱風災後經營管理學術研討會，高雄應用科技大學，高雄市。
38. 洪鴻智、陳令韡(2012)，颱風災害之整合性脆弱度評估：大甲溪流域之應用，*地理學報*，**65**: 83-100。
39. 張國松 (2005)，震災物資支援據點與物流管理機制之研究，國立台北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文。
40. 黃亦琇 (2001)，震災道路系統評估指標之建立，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
41. 黃志弘 (2000)，從震害調查實證探討本土都市防災規劃基準，發表於 921 集集地震災後重建與都市防災研討會，內政部建築研究所。
42. 彭光輝(2003)，建立洪患地區之社區防救災處理機制之探討，*社區發展季刊*，**104**: 103-116。
43. 彭光輝、林峰田(2003)，震災後避難收容設施緊急應變標準作業程序，內政部建築研究所。
44. 詹士樑、洪鴻智(2007)，鄰避性設施開發案之總量管制研究，內政部營建署委託，台北市。
45. 詹士樑、黃書禮、蕭婷允(2010)，氣候變遷下都市防災空間規劃程序調整之研究，*建築與規劃學報*，**10(3)**: 183-200。

46. 劉格非、李欣輯(2006)，土石流直接災損評估之研究，中華水土保持學報，**37(2)**:143-155。
47. 李欣輯、劉格非(2010)，土石流間接災損評估研究—以台中縣松鶴一溪為例，中國土木水利工程學刊：**22(2)**:159-166。
48. 李欣輯、楊惠萱、廖楷民、蕭代基(2010)，水災社會脆弱性指標之建立，建築與規劃學報：**10(3)**:163-182。
49. 陳志嘉、陳怡如、徐勝一(2010)，土石流災害社會脆弱性研究—以南投縣水里鄉上安社區為例：**2(2)**:1-28。
50. 連經宇(2000)，斷層帶土地禁限建可行性、範圍劃設原則與執行策略之研議，臺灣土地金融季刊，**37(2)**:97-119。
51. 馮正民、林偵家(2001)，日間人口估算模式之調查建置(三)：國內日間人口之後續調查及估算操作手冊之編撰，內政部建築研究所專題研究計劃成果報告，新北市。
52. 歐秀玲 (2000)，台中市都市災害敏感地之研究-以火災及地震災害為例，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
53. 蔡綽芳(2002)，從九二一震災經驗探討我國防災避難據點之規劃設置，都市防災及山坡地災害防治研討會論文集，台北。
54. 蔡柏全、張淵鈞、張益三(2002)，都市防災中基礎避難圈域最適規模之初探，發表於2002年都市計畫、區域科學與住宅學會聯合年會與論文研討會，台北。
55. 熊光華、黃伯全 (2002)，震後各類起火源與周遭環境間危險度評估之研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
56. 蘇明道(2006)洪災風險評估系統之研發—基隆河流域案例研究—子計畫區域洪災風險評估系統中損害評估模組之建立(II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫報告。
57. 蘇瑛敏(2001)，台北縣活動斷層禁限建地區劃設可行性研究計畫，台北縣政府委託研究計畫，新北市。
58. 蘇瑛敏、蔡承璋(2003)，活動斷層帶限制發展處理機制與策略評估之研究，都市與計劃，**30 (4)**: 301-323。
59. 蕭代基、黃星翔、洪銘堅、盧孟明、羅以倫，2007。淡水河流域洪災損失機率風險分析，臺灣經濟預測與政策，**37(3)**: 31-53。
60. 蕭江碧、李泳龍、葉光毅 (2002)，南投市都市防災空間系統規劃，內政部建築研究所研究報告，新北市。
61. 蕭江碧、張益三(2002)，地方層級都市防災規劃與改善管理計畫之研擬：嘉義市都市防災規劃示範計畫，內政部建築研究所研究計畫成果報告，新北市。

62. Adger, W. N. (2006). Vulnerability, *Global Environmental Change*, **16**(3): 268-281.
63. Akason, J. B., Ólafsson, S. and Sigbjörnsson, R. (2006). Phases of earthquake experience: A case study of the June 2000 south Iceland earthquake, *Risk Analysis*, 26: 1235-1246.
64. Alberini, A., Chiabai, A. and Muehlenbachs, L. (2006). Using expert judgment to assess adaptive capacity to climate change: Evidence from a conjoint choice survey, *Global Environmental Change*, **16**: 123-144.
65. Amini Hosseini, K., Jafari, M. K., Hosseini, M., Mansouri, B. and Hosseinioon, S. (2009) Development of urban planning guidelines for improving emergency response capacities in seismic areas of Iran, *Disasters*, **33**(4):645-664.
66. Ananda, J. and Herath, G. (2003). Incorporating stakeholder values into regional forest planning: A value function approach, *Ecological Economics*, **45**: 75-90.
67. Arlikatti, S., Lindell, M. K., Prater, C. S. and Zhang, Y. (2006). Risk area accuracy and hurricane evacuation expectations of coastal residents, *Environment and Behavior*, **38**(2): 226-247.
68. Basta, C., Neuvel, J. M. M., Zlatanova, S. and Ale, B. (2007). Risk-maps informing land-use planning processes: a survey on the Netherlands and the United Kingdom recent developments, *Journal of Hazardous Materials*, **145**(1-2): 241-249.
69. Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. and Wisner, B. (1994). *At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, New York: Routledge.
70. Bohle, H. G., Downing, T. E. and Watts, M. J. (1994). Climate change and social vulnerability: Toward a sociology and geography of food security, *Global Environmental Change*, **4**: 37-48.
71. Brooks, N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*, Working paper 38. Norwich UK: Tyndall Centre for Climate Change Research.
72. Brooks, N., Adger, W. N. and Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implication for adaptation. *Global Environmental Change*, **15**(2): 151-63.
73. Brouwer, R., Akter, S., Brander, L. and Haque, E. (2007). Socioeconomic vulnerability and adaptation to environmental risk: A case study of climate change and flooding in Bangladesh, *Risk Analysis*, **27**(2): 313-26.
74. Burby, R. J., Beatley, T., Berke, P. R., Deyle, R. E., French, S. P., Godschalk, D.

- R., Kaiser, E. J., Kartez, J. D., May, P. J., Olshansky, R., Peterson, R. G. and Platt, R. H. (1999). Unleashing the power of planning to create disaster- resistant community, *Journal of the American Planning Association*, **65**: 247-258.
75. Burton, I., Kates, R. W. and White, G. F. (1993). *The Environment as Hazard* (2nd ed.), New York: Guilford.
76. California Emergency Management Agency (2010). *2010 State of California Multi-Hazard Mitigation Plan*, Mather CA.
77. Cardona, O. D. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management', in Bankoff, G., Frerks, G., Hilhorst, D. (eds.) *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, pp.37-51, Sterling,VA: Earthscan.
78. Carreño, M. L., Cardona, O. D., Barbat, A. H. (2007). Urban seismic risk evaluation: A holistic approach, *Natural Hazards*, **40(1)**: 137-172.
79. Chang, S. E., Gregorian, M., Pathman, K., Yumagulova, L., Tse, W. (2012). Urban growth and long-term changes in hazard risk, *Environment and Planning A*, **44**: 989-1008.
80. Comerio, M. C. (2004). Public policy for reducing earthquake risks: A US perspective, *Building Research and Information*, **32**: 403-413.
81. Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards, *Progress in Human Geography*, **20**: 529 – 539.
82. Cutter, S. L., Boruff, B. J. and Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards, *Social Science Quarterly*, **84(2)**: 242-261.
83. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E. Tate, E. and Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience, *Global Environmental Change*, **18(4)**: 598-606.
84. Davidson, R. A., Zhao, H. and Kumar, V. (2003). Quantitative model to forecast changes in hurricane vulnerability of regional building inventory, *Journal of Infrastructure Systems*, **9**: 55-64.
85. Davidson, R. and Rivera, M. (2003). Projecting building inventory changes and the effect on hurricane risk. *Journal of Urban Planning and Development*, **129(4)**: 211-230.
86. Davidson, R., Zhao, H. and Kumar, V. (2003). Quantitative model to forecast changes in hurricane vulnerability of regional building inventory. *Journal of*

- Infrastructure System*, **9(2)**: 55-64
87. Dettinger, M. D., Ralph, F. M., Hughes, M., Das, T., Neiman, P., Cox, D., Estes, G., Reynolds, D., Hartman, R., Cayan, D. and Jones, L. (2012). Design and quantification of an extreme winter storm scenario for emergency preparedness and planning exercises in California, *Natural Hazards*, **60**: 1085-1111.
 88. Dessai, S., Lu, X. and Risbey, J. S. (2005). On the role of climate scenarios for adaptation planning, *Global Environmental Change*, **15(2)**: 87-97.
 89. Eakin, H., and Bojórquez-Tapia, L. A. (2008). Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis, *Global Environmental Change*, **18(1)**: 112-27.
 90. Eakin, H., and Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems, *Annual Review of Environment and Resources*, **31**: 365-94.
 91. Ermoliev, Y. M., Ermolieva, T. Y., MacDonald, G. J., Norkin, V. I. and Amendola, A. (2000). A System Approach to Management of Catastrophic Risks, *European Journal of Operational Research*, **122**: 452-460.
 92. FEMA (1997). *Multi-hazard Identification and Risk Assessment: A Cornerstone of the National Mitigation Strategy* Federal Emergency Management Agency, Washington D.C..
 93. FEMA (2008a). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS MR4: Technical Manual*, Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.
 94. FEMA (2008b). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Flood Model HAZUS MR4: Technical Manual*, Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.
 95. FEMA (2008c). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hurricane Model HAZUS MR4: Technical Manual*, Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.
 96. Flax, L. K., Jackson, R. W. and Stein, D. N. (2002). Community vulnerability assessment tool methodology, *Natural Hazards Review*, **3(4)**: 163-176.
 97. Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change, *Global Environmental Change*, **17(2)**: 155-167.
 98. Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity, *Global Environmental Change*, **16(3)**: 293-303.

99. Gruntfal, G., Thieken, A. H., Schwarz, J., Radtke, K. S., Smolka, A., Merz, B. (2006). Comparative risk assessments for the city of Cologne—storms, floods, earthquakes, *Natural Hazards*, **38**: 21-44.
100. Greiving, S. (2006). Integrated risk assessment of multi-hazards: A new methodology, Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions. In: Schmidt-Thomé, P. (ed.), *Geological Survey of Finland*, Special Paper **42**, 75–82.
101. Greiving, S., Fleischhauer, M. and Lückenkötter, J. (2006). A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards, *Journal of Environmental Planning and Management*, **49(1)**: 1-19.
102. Haines, Y. Y. (2009). *Risk Modeling, Assessment and Management*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
103. Hewitt, K. and Burton, I. (1971) *The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events*, Toronto: University of Toronto.
104. Hewitt, K. (1997). *Regional of Risk: A geographical introduction to disasters*, Singapore: Longmen.
105. Ho, M. C., Hung, H. C., Chen, C. J., Chen, Y. J, Chian, C. Y. and Chen, S. Y. (2007). The earthquake risk analysis for land-use changes: A case study of Hsinchu City, Taiwan, Paper presented at the 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction, Taipei.
106. Hobbs, B. E., Ludsin, S. A., Knight, R. L., Ryan, P. A., Biberhofer, J. and Ciborowski, J. J. (2002). Fuzzy cognitive mapping as a tool to define management objectives for complex ecosystems, *Ecological Applications*, **12**: 1548-1565.
107. Hughey, E. P. and Bell, H. M. (2011). Does comprehensive emergency management work? A longitudinal study in the commonwealth of the Bahamas, *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, **2(1)**: Article 4.
108. Hung, H. C. and Chen, L. C. (2007). The application of seismic risk-benefit analysis to land-use planning in Taipei City, *Disasters*, **31(3)**: 256-276.
109. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001). *IPCC, 2000. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. The Contribution of Working Group II to the Third Science Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
110. Jain, V. M., Davidson R, A. and Rosowsky, D. (2005). Modeling changes in hurricane risk over time, *Natural Hazards Review*, **6(2)**: 88-96.

111. Jenkins-Smith, H. C., Silva, C. L., Berrens, R. P. and Bohara, A. (2002). Information disclosure requirement and the effect of soil contamination on property values, *Journal of Environmental Planning and Management*, **45**: 323-339.
112. Kitchin, R. M. (1994). Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, **14**: 1-19.
113. Krishnamurthy, P. K., Fisher, J. B. and Johnson, C. (2011). Mainstreaming local perceptions of hurricane risk into policymaking: a case study of community GIS in Mexico, *Global Environmental Change*, **21**:143-153.
114. Kates, R.W. and Kaspersen, J. X. (1983). Comparative risk analysis of technological hazards (a review), *Proceedings of National American Academy of Science USA*, **80**: 7027-7038.
115. Lindell, M. K., Prater, C.S. and Perry, R. W. (2006). *Fundamentals of emergency management*. Federal Emergency Management Agency, Emergency Management Institute, Emmitsburg, MD.
116. Lindell, M. K. and Hwang, S. N. (2008). Households' perceived personal risk and responses in a multihazard environment, *Risk Analysis*, **28**(2): 539-556.
117. Liverman, D. M. (1990). Drought impacts in Mexico: Climate, agricultural, technology, and land tenure in Sonora and Puebla, *Annals of the Association of American Geographers*, **80**: 49-72.
118. Luers, A. L., Lobell, D. B., Sklar, L. S., Addams, C. L., and Matson P. A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico, *Global Environmental Change*, **13**(4): 255-267.
119. Luers, A. L. (2005). The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change, *Global Environmental Change*, **15**: 214-223.
120. May, P. J.(1996). Addressing natural hazards: Challenges and lessons for public policy, *Australian Journal of Emergency Management*, **11**: 30-37.
121. Malone, E. L. and Rayner, S. (2001). Role of the research standpoint in integrating global-scale and local-scale research, *Climate Research*, **19**(2): 173-78.
122. Mahdyiar, M. and Porter, B. (2005). The risk assessment process: The role of catastrophe modeling in dealing with natural hazards, In: Grossi, P. and Kunreuther H. (eds.), *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*, pp.45-68, New York: Springer.
123. Maplecroft (2012). Natural Hazards Risk Atlas ([http:// http://maplecroft.com/](http://maplecroft.com/))

about/news/nha_2012.html)

124. Masozera, M., Bailey, M. and Kerchner, C. (2007). Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case study of New Orleans, *Ecological Economics*, **63**: 299-306.
125. Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, A., Gasparini, P. Mastellone, M. L. and Ruocco, A. D. (2012). Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy, *Natural Hazards*, **62**: 551-573.
126. McCall, M. K. (2008). Participatory mapping and participatory GIS (PGIS) for DRR, community risk and hazard assessment. ITSC Working Paper.
127. Mendoza, G. A. and Prabhu, R. (2003). Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management, *Forest Ecology and Management*, **174**: 329-343.
128. Mileti, D.S. (1999). Disaster by Design: A Reassessment of National Hazards in the United States, Washington DC: Joseph Henry Press.
129. Mishra, B. K., Takara, K., Yamashiki, Y. and Tachikawa Y. (2009). Hydrologic simulation-aided regional flood frequency analysis of Nepalese river basins, *Journal of Flood Risk Management*, **2(4)**: 243-253.
130. Nelson, A. C. and French, S. P. (2002). Plan quality and mitigation damage from natural disasters: A case study of the Northridge earthquake with planning policy considerations, *Journal of the American Planning Association*, **68**: 194-207.
131. Næss, L. O., Bang, G., Eriksen, S. and Vevatne, J. (2005). Institutional adaptation to climate change: Flood responses at the municipal level in Norway, *Global Environmental Change*, **15**: 125-138.
132. Næss, L. O., Norland, I. T., Lafferty, W. M. and Aall, C. (2006). Data and processes linking assessment to adaptation decision-making on climate change in Norway, *Global Environmental Change*, **16(2)**: 221-233.
133. O'Brien, K., Sygna, L. and Haugen, J. E. (2004). Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway, *Climatic Change*, **64(1-2)**: 193-225.
134. Olshansky, R. and Wu, Y. (2001). Earthquake risk analysis for Los Angeles County under present and planned land uses, *Environment and Planning B: Planning and Design*, **28(3)**: 419-432.
135. Özesmi, U. and Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's

- knowledge: A multi-step fuzzy cognitive mapping approach, *Ecological Modelling*, 176: 43-64.
136. Pelling, M. (2003), *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*, London: Earthscan.
137. Porter, B. and Virkud, U. (2002). *Catastrophe Models: Where They Came From and Where They're Going*, Applied Insurance Research, Inc.
138. Posey, J. 2009. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the municipal level: Evidence from floodplain management programs in the United States. *Global Environmental Change* 19 (4): 482-93.
139. SCEMD (2007). *South Carolina Hazard Mitigation Plan*, Office of the Adjutant General, South Carolina Emergency Management Division, <http://www.scmd.org/>.
140. Schmidtlein, M. C., Deutsch, R. C., Piegorsch, W. W. and Cutter, S. L. (2008). A sensitivity analysis of the social vulnerability index, *Risk Analysis*, **28(4)**: 1099-1114.
141. Simpson, D. M. and Human, R. J. (2008). Large-scale vulnerability assessments for natural hazards, *Natural Hazards*, **47**:143-155.
142. Smit, B. and Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability,” *Global Environmental Change*, **16**: 282-292.
143. Smith, K. (2001). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, London: Routledge.
144. Tate, E., Cutter, S. L. and Berry, M. (2010). Integrated multihazard mapping, *Environment and Planning B: Planning and Design*, **37**: 646-663.
145. Tran, P., Shaw, R., Chantry, G. and Norton, J. (2009). GIS and local knowledge in disaster management: a case study of flood risk mapping in Vietnam, *Disasters*, **33(1)**:152-169.
146. Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, I. 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 of United States of America*, **100**: 8074-8079.
147. Uitto, J. I. (1998). The geography of disaster vulnerability in megacities: a theoretical framework, *Applied Geography*, **18**:7-16.
148. UN ISDR (2005). *Hyogo framework for action 2005-2015: Building the*

- resilience of nations and communities to disasters*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.
149. UNDRO (1980). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, Report of Experts Group Meeting, Geneva: UNDRO.
150. United Nations (2004). *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives*. Geneva, Switzerland: International Strategy for Disaster Reduction.
151. UN/ISDR & UN/OCHA(2008). Disaster Preparedness for Effective Response Guidance and Indicator Package for Implementing Priority Five of the Hyogo Framework. United Nations secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) and the United Nations Office for Coordination of Humanitarian Affairs (UN/OCHA), Geneva, Switzerland, 51+iv pp.
152. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. and Davis, I. (2004). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Routledge, London.
153. Xu, X., Lin, H. and Fu, Z. (2004). Probe into the method of regional ecological risk assessment – A case study of wetland in the Yellow River Delta in China, *Journal of Environmental Management*, **70**: 253-262.
154. Yohe, G., and Tol, S. J. (2002). Indicators for social and economic coping capacity: Moving toward a working definition of adaptive capacity, *Global Environmental Change*, **12(1)**: 25-40.
155. Young, O. R., Berkhout, F., Gallopin, G., Janssen, M. A., Ostrom, E. and van der Leeum, S. (2006). The globalization of socio-ecological systems: An agenda for scientific research, *Global Environmental Change*, **16**: 304-316.
156. Rose, A., Wei, D. and Wein, A. (2010). Economic Impacts of the ShakeOut Scenario, *Non-published Research Reports*, Paper 87, http://research.create.usc.edu/nonpublished_reports/87
157. U.S. Bureau of Labor Statistics (2011). *Labor market risks of a magnitude 7.8 earthquake in southern in southern California*, Regional Report, Washington D.C., U.S., http://www.bls.gov/opub/regional_reports/southernca/201106_southernca.pdf