

整合地理資訊系統與資料探勘技術於都會區複合性災害境況模擬之研究

周瑞生*

國立臺灣科技大學 營建工程系 教授

李振銘

國立臺灣科技大學 營建工程系 研究助理

摘要

臺灣位處環太平洋地震帶的海島環境，生活周遭常面臨颱風侵襲、坡地坍塌、地震等天然災害。面對上述致災因子，甚而複合性災害所帶來的威脅，將造成政府及人民財產損失並危害生命安全。臺北市為臺灣政經首都且人口密度高，在既有之都市防災作業中，考慮複合型災害或極端性氣候下之災害防救作業，貴為當前急需處理的首要議題。本文針對臺北市面臨強降雨量與周圍潛勢斷層，擬定四十八個複合性災害情境，透過水文、淹水分析成果與 TELES (Taiwan Earthquake Loss Estimation System) 地震潛勢分析理論，進行臺北市各行政區的複合性災害潛勢圖層套疊與避難人數評估。分析結果依資料呈現方式可區分為災前靜態的災害潛勢圖與收容能量評估表，係以潛勢圖層進行地理資訊系統的空間與數據套疊，並結合市府目前規劃之臨時避難場所進行收容能量的評估；在災時動態的避難人數推估曲線，為藉由資料探勘技術建構之模式預測成果繪製而得，可即時推算臺北市各行政區遭受複合性災害時的避難人數與容受力。文末則提出結論與建議，期供相關單位作為災害防救決策資訊之依據。

關鍵字：複合性災害潛勢分析、收容能量評估、地理資訊系統、TELES、資料探勘

INTEGRATING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND DATA MINING TECHNIQUES TO SIMULATE MULTI-HAZARDS IN METROPOLITAN CITY

Jui-Sheng Chou*

Professor, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

Chen-Ming Lee

Graduate Research Assistant, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

ABSTRACT

Located in the circum-Pacific seismic zone, Taiwan constantly encounters the threats of natural disasters such as typhoons, floods, landslides, and earthquakes. The threats posed by the disaster-inducing factors mentioned above as well as compound disasters pose the risk of property loss to the government and the people and severely endanger safety. Because Taipei City is both the political and economic capital of Taiwan and has a high population density, it must consider disaster prevention and relief operations for compound disasters and extreme climates in addition to existing metropolitan disaster prevention operations. This is a primary issue that currently demands immediate solutions. The present study formulated 48 compound-disaster scenarios based on the threats of heavy rainfall and surrounding potential faults. Hydrology and flood analysis theories and the Taiwan earthquake loss estimation system (TELES) were employed to assess the potential for compound disasters and the number of subsequent displaced people in the various administrative districts of Taipei City. The resulting disaster potential diagrams were integrated to conduct GIS (Geographic Information System) spatial and data analysis, and temporary refuges or shelters currently planned by the city government were compared. Furthermore, a dynamic assessment curve for the number of displaced people during a multi-disasters was plotted using data mining techniques. Subsequently, a cross table

*通訊作者(Corresponding author) : jschou@mail.ntust.edu.tw

was obtained and employed to predict the number of refugees in the various administrative districts of Taipei City. Finally, a conclusion and recommendations were provided for relevant departments that can be used as a basis for information when making disaster prevention and relief decisions concerning earthquakes and flooding simultaneously.

Keywords: Multi-hazards, Shelter capacity, GIS, TELES, Data mining.

一、緒論

臺灣位處環太平洋地震帶與易受災害侵襲地區，先天地質脆弱度高。而臺灣政經首府臺北市面積 268,551,391 平方公尺，然人口眾多(已超過 260 萬)，為高密度的都會區環境，一旦遭逢極端災害(颱風、強震)侵襲，引致之災損可能造成政府及人民莫大財產損失，甚而危害生命安全。

當面臨個別災害(如水災、土石流與地震等災害類型)同時發生時，災害預防機制不一定能同時啟動，例如：洪災與地震之防治與救災模式不同，卻有可能同時發生。回顧既有的研究多鎖定單一災害或受限歷史紀錄災害範圍，且防災作業中並未考量複合性災害引致之環境影響，都市災害規模愈發難以預測及控制。因此，考量複合災害可能產生的衝擊，救災單位如何在有限的資源下，規劃防治工作甚為重要。

本研究針對臺北市較常面臨的颱風與地震等潛勢，模擬複合性災害情境，進而評估地區之淹水深度與地震損害潛勢結果，建置地區災害潛勢資料。其次，運用 ArcGIS 地理資訊系統，將臺北市潛勢分析結果套疊繪製災害潛勢圖，並進一步比較複合性災害潛勢的避難人數與目前規劃之臨時避難場所的收容空間。另，結合資料探勘(Data Mining)技術，針對複合性災害潛勢分析數據進行避難人數之預測模式建構，依此繪製臺北市行政區於災害情境下所需避難人數的決策資訊曲線。

以下即就臺北市的潛勢調查與複合性災害的潛勢分析理論、分析步驟以及選定複合性災害情境案例進行說明，最後依分析結果進行討論。

二、臺北市之災害潛勢近況

2-1 颱風災害

近年來氣候變遷的議題在全球受到重視，天氣系統(颱風及強降雨)的強度近 30 年來屢創新高，雖

然無法直接證實此一現象係由全球暖化造成，但可確定的是人民所居住的環境已遭受更嚴重的災害威脅。

早期臺北湖淤砂與石礫堆積，使得臺北市出露地層以沈積岩為主，又因臺北盆地周遭受坡地包圍，地形陡峻，河川坡度大，造成集流時間短促；歷年每逢夏、秋颱風季節與秋冬東北季風夾帶的豪雨，造成短時間內的強降雨量，極可能發生水患災害(Chou et al., 2013)。

臺灣因社會經濟迅速發展，都會區人口急遽增加，平地之土地利用已趨飽和，臺北大都會尤其平地接壤之山坡地谷口處與邊緣地區，均已高度開發利用為密集住宅區，亦已破壞原有山坡地天然排水系統；又因位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之交界帶，隨著板塊運動，導致地質環境不良、岩性破碎且構造複雜，致使森林覆蓋面積減少與水土保持功能降低，形成環境敏感帶。水土環境的不平衡，原有天然排水之自然山溝谷口已失去緩衝水土災害的功能，使得臺北市山坡地潛在的水土災害問題愈趨嚴重，影響平地邊緣地區居民的生活品質。

2-2 地震災害

臺灣處於太平洋火環帶上，火環帶綿延 4 萬公里，呈馬蹄形包圍太平洋，地球 90%的地震以及 81%最強烈的地震遍及日本、臺灣、智利、墨西哥、美國、俄羅斯、菲律賓、印尼到紐西蘭(United States Geological Survey, 2004)。此外，臺灣全島約有 33 條活動斷層(Central Geological Survey, 2011)，每條斷層均對臺北盆地造成不同程度的影響。

本研究依據臺北市防災資訊網公佈之臺北市災害防救計畫第四篇地震災害(Taipei City Disaster Prevention and Rescue Information, 2013)，選定宜蘭外海、山腳斷層與隱沒帶為主要震源。葉錦勳等學者(Yeh, Jean et al., 2010)建議各地震事件模擬震源深

度與斷層性質如

表。後續潛勢分析中，本研究將進而檢討相關境況模擬地震參數的選用。

表 1、地震事件模擬參數

模擬事件	平均震源深度	斷層性質
宜蘭外海	7 公里	點震源
山腳斷層	7.5 公里	面震源
臺北南方	80 公里	面震源

另外，臺灣電力公司委託中興工程顧問公司與中央大學針對山腳斷層延伸至東海海域的可能性進行探查，初步研判山腳斷層長度除陸地部分約四十公里外，並延伸至少達外海四十公里處，推估陸域與海域斷層共 80 公里。根據 Wells and Coppersmith (1994)研究指出，地震規模與斷層破裂長度高度相關。為求周延，本研究考量山腳斷層陸域和海域地震斷層破裂長度達 80 公里，做為後續潛勢分析的評估重點之一。

三、臺北市複合性災害潛勢界定與分析

本章節歸納說明臺北市颱風與地震災害等相關潛勢研究報告，接續探究各災害潛勢的分析理論，藉以評估複合性災害引致之避難人數。

3-1 颱風災害潛勢界定

(一) 淹水潛勢

淹水潛勢係指透過數值模擬最可能發生的淹水情況，然而模擬結果可能無法完全符合淹水災害發生時的實際情況，故本研究以現地踏勘以及過往歷史記錄彌補數值模擬無法呈現的結果，如保全住戶現況及其他可能之人為致災原因等。此外，以現地踏勘獲取實際之潛勢資料，輔以數值模擬所得之潛勢圖資進行淹水潛勢分析，較能符合現況，而於災害潛勢對策研擬與相關之決策判斷則係以現地踏勘資料為主。

本研究依據「水災危險潛勢地區保全計畫表」所列水災危險潛勢地區，為淹水深度 30 公分以上地區達抽水機自動機制標準(經濟部水利署水利防災中心，2011)，以及經濟部水利署 99 年 5 月修正之「水災危險潛勢區域疏散避難標準作業程序」，對於「水災危險潛勢地區」之定義為降雨量 450mm/24hr 之淹水潛勢深度達 50 公分以上地區(經濟部水利署，2010)，

並考量中央氣象局定義之「超大豪雨」，分別模擬降雨量 350mm/24hr、450mm/24hr、600mm/24hr 且淹水潛勢深度達 30 與 50 公分之地區。

(二) 土石流潛勢

針對豪雨產生的累積雨量，造成臺北市地質敏感警戒區域，係依行政院農委會水土保持局對潛勢溪流的分級原則，以「自然環境潛在因子」(表 2)及「保全對象危害度因子」(表 3)分別進行評估，並將評分結果導入風險分析矩陣(表 4)概念，得到土石流潛勢溪流的危險等級，爾後即可依累積降雨量求得受影響保全住戶(Chou, 2010; Council of Agriculture, Executive Yuan, 2010; Chou et al., 2013)。

(三) 山坡地老舊聚落災損潛勢

山坡地老舊聚落警戒區域為臺北市政府期望有效控管臺北市山坡地開發利用及減少山坡地災害，於民國 88 年 9 月實施「臺北市加強山坡地安全管理方案」(鍾弘遠等，2003)。其中，「坡地全面體檢」為該方案的工作重點：(1)前置作業包含蒐集聚落範圍及可能影響周邊人文與社經資料，確立保全對象。(2)於颱風豪雨期間(5 月至 11 月)由專業技師帶領工作人員赴各聚落現場勘查，評估各聚落可能發生災害地點、影響範圍及可能造成之損失，並將聚落內個別危險徵兆地點予以編號及拍照列管。(3)完成前兩項作業後，由專業人員填寫臺北市政府產業發展局「老舊聚落風險評估表」(表 5)，評估老舊聚落內建物風險等級，進而以累積降雨量推估受影響保全住戶。

3-2 地震災害潛勢界定

地震芮氏規模、斷層帶位置、斷層破裂長度等均可成為震災模擬的輸入參數，本研究依臺北市災害防救深耕計畫成果(Chou, 2011; Chou, 2012)選定臺北市潛勢斷層；另，礙於選定的斷層於歷史災情資料有限，在此配合內政部營建署「建築物耐震設計規範」(Construction and Planning Agency Ministry of the Interior, 2011)，模擬八個地震事件。

表 2、自然環境潛在因子評分

因子	分類	評分
崩塌規模(25)	明顯大面積崩塌	25
	小規模崩塌	15
	無明顯崩塌	5
坡度因子(25)	上游區坡度大於 50°	25
	上游區坡度介於 30°~50°	15
	上游區坡度小於 30°	5
材料破碎(20)	平均粒徑大於 12”	20
	平均粒徑介於 12”~3”	13
	平均粒徑小於 3”	2
	無明顯堆積材料	2
岩性因子(15)	第一類(A、D、F 地質區)	15
	第二類(C、E 地質區)	15
	第三類(B、G 地質區)	5
植生因子(15)	裸岩、落石堆積	15
	植被稀疏	15
	植被中等稀疏	6
	植被密集	3
最高評分合計		100

表 3、保全對象因子評分

因子	分類	評分
建物(50)	與防災措施相關之公共場所 (學校、醫療設施及避難公共場所等)	50
	5 戶民宅以上	45
	1 戶至 4 戶間之民宅	20
	無住戶	0
交通(20)	橋樑	20
	道路	10
	無	0
現地整治成效 (30)	待改進或無整治設施	30
	尚可	15
	良好或不需整治	0
最高評分合計		100

表 4、土石流潛勢溪流危險等級之風險矩陣

優先處理順序	發生潛勢因子等級			
	低	中	高	最高
保全危害 度因子等 級	低 低(持續觀察)	低	中	高
	中	低	中	高
	高	中	高	高

表 5、老舊聚落風險評估表之評估項目

項次	項目	嚴重性				項次	項目	嚴重性			
		無	低	中	高			無	低	中	高
(一)邊坡地形特徵因素					(四)水文排水因素						
1	以前曾經發生崩塌*					1	地下水湧出*				
2	坡腳隆起*					2	行水路受阻*				
3	不當填方*					3	縱橫向排水設施不足				
4	不當挖方*					4	排水設施淤積容量不足				
5	邊坡陡峭(土坡)*					5	排水溝有斷裂或基礎下陷情形				
6	坡頂出現明顯解壓裂縫或凹陷*					(五)擋土設施因素					
7	坡面上之樹木或電線桿有傾斜現象					1	擋土設施表面出現明顯外凸變形或龜裂*				
8	坡面出現裂縫或小坍方					2	擋土設施表面出現不正常出水現象				
9	鄰近道路路面出現裂縫或局部陷落*					3	擋土牆牆腳或邊坡坡趾出現崩土或土石堆				
(二)工程地質因素					4	擋土牆洩水口或水平排水管堵塞或排水不良					
1	順向坡*					5	地錨錨頭出現開裂、剝離或銹蝕*				
2	崩積層					(六)建物結構因素					
3	斷層破碎帶					1	退縮距離不足				
4	落石*					2	建物位於斷崖*				
5	可能發生泥石流*					3	建物基礎有安全之虞*				
(三)沖蝕植生因素					4	建物牆壁龜裂					
1	向源侵蝕*					5	建物坐落於水路上*				
2	坑溝傾蝕					(七)其他					
3	一般土壤沖蝕										
4	上邊坡植生被覆不良										
危險分級		□A 級(高危險徵兆)			□B 級(中危險徵兆)			□C 級(低危險徵兆)			

*表示特定 18 項評估項目，若其中有任一項勾選其嚴重性為高者，則判定為 A (高危險徵兆)

事件一、事件二與事件八分別代表斷層地震事件造成臺北盆地最大地表加速度 0.24g(耐震設計標準 475 年回歸期)；事件三與事件四則為 0.32g(耐震設計標準 2500 年回歸期)。事件五為假設山腳斷層南段 13 公里錯動破裂的情況。另外，有鑑於日本 2011 年 3 月 11 日發生地震矩規模 9.0 之地震，本研究假設山腳斷層陸域南段 13 公里與北段 21 公里，斷層破裂長度共 34 公里的情況(事件六)；以及假設山腳斷層延伸至海域，破裂長度達 80 公里之地震事件七。

地震事件觸發機制主要為假設宜蘭外海斷層、山腳斷層與臺北南方(首都直下型)斷層破裂錯動所產生的地震矩能量並轉換成芮氏規模後進行地震災害潛勢分析(圖 1)，其理論依據為 Wells 與 Coppersmith(1994)提出之斷層破裂長度與地震矩規模關係的經驗公式。

由於宜蘭外海斷層為菲律賓海板塊向下隱沒至歐亞大陸板塊下方之隱沒帶(Subduction Zone)地震，無法確知斷層類型，故使用全類型斷層(All Fault)經驗公式(1)。而地震矩規模與芮氏規模換算公式係採用吳逸民等(Wu et al., 2002)對中央氣象局速報系統及自由場強地動觀測網所記錄的 189 個地震資料所

得的經驗公式(2)推估芮氏規模。

$$M_W = 5.08 + 1.16 \times \log(L) \tag{1}$$

$$M_L = 4.533 \times \ln(M_W) - 2.091 \tag{2}$$

其中， M_W 為地震矩規模， L 為斷層破裂長度， M_L 為芮氏規模。

因山腳斷層為已知正斷層(Normal Fault)，故使用正斷層經驗公式(3)與公式(2)推估芮氏規模，並利用公式(4)進而計算斷層破裂面積(A)，除以斷層破裂長度(L)，可得斷層破裂寬度(W)，即可將以上參數連同已知資訊進行地震潛勢分析(圖 2)。

臺北南方地震為設定地震規模後進行地震模擬事件八，同樣依根據地震矩規模與斷層破裂長度經驗公式(2)與全類型斷層經驗公式(5)，並利用地震矩規模計算地震破裂面積(公式(6))，進而得到斷層破裂寬度(圖 3)。

$$M_W = 4.86 + 1.32 \times \log(L) \tag{3}$$

$$\log(A) = -2.87 + 0.82 \times M_W \tag{4}$$

$$\log(L) = -2.01 + 0.5 \times M_W \tag{5}$$

$$\log(A) = -2.01 + 0.5 \times M_W \tag{6}$$

表 6 為地震模擬事件一至事件八採用參數彙整表，並於後續說明地震潛勢分析軟體的理論。

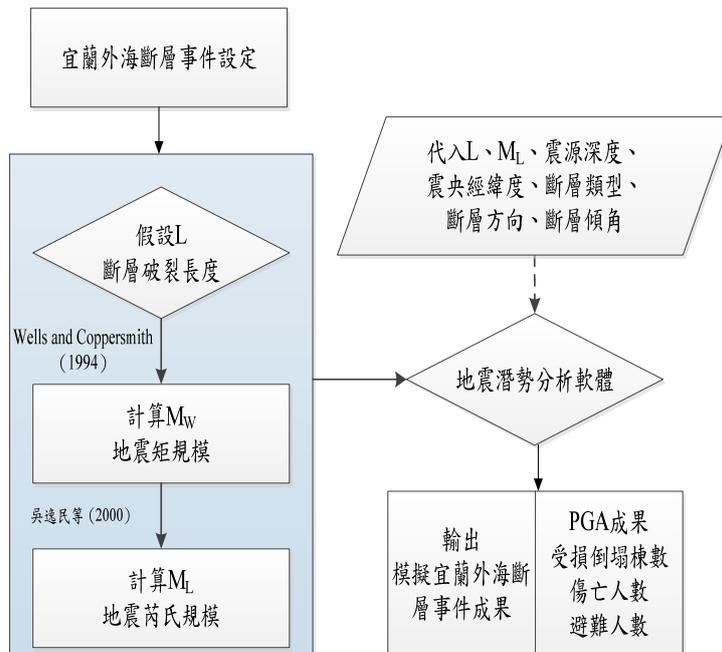


圖 1、宜蘭外海斷層地震模擬事件流程圖

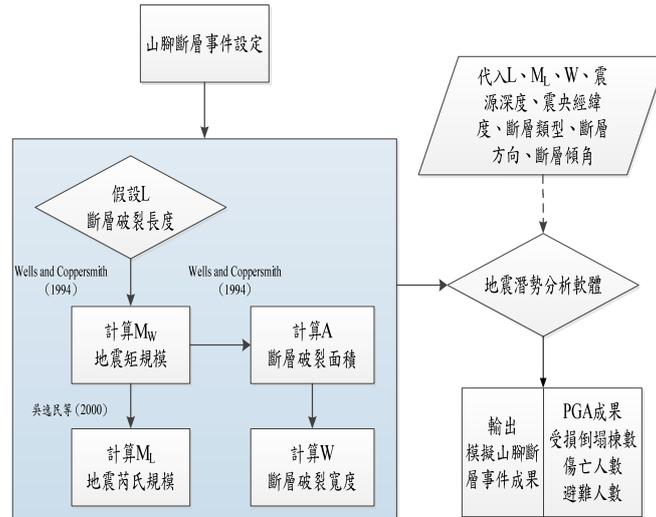


圖 2、山腳斷層地震模擬事件流程圖

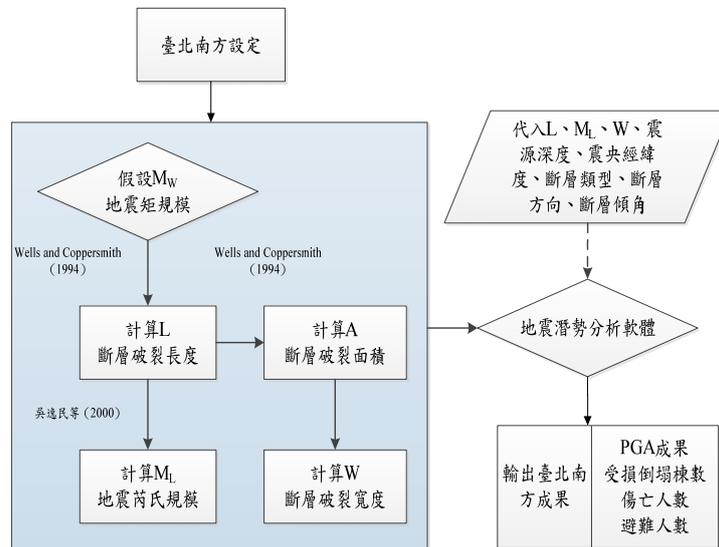


圖 3、臺北南方模擬事件流程圖

表 6、地震模擬事件參數值

項次	斷層帶	回歸期(年)	芮氏規模	PGA(g)	震源形式	震源深度 (km)	破裂寬度 (km)	破裂長度 (km)
事件一	宜蘭外海	475	6.9	0.244	線震源	7.0	0.0	85.0
事件二	山腳斷層	475	5.2	0.243	面震源	7.5	13.2	1.2
事件三	宜蘭外海	2,500	7.0	0.322	線震源	7.0	0.0	97.4
事件四	山腳斷層	2,500	5.5	0.324	面震源	7.5	14.1	2.5
事件五	山腳斷層	-	6.3	0.542	面震源	7.5	16.1	13.0
事件六	山腳斷層	-	6.7	0.591	面震源	7.5	17.4	34.0
事件七	山腳斷層	-	7.0	0.634	面震源	7.5	18.7	80.0
事件八	臺北南方	475	7.5	0.244	面斷層	80.0	59.9	129.3

3-3 災害潛勢分析

本研究以淹水潛勢區、土石流潛勢溪流與老舊聚落影響區域居民作為颱風災害評估之對象；在地震災害，則考量地域和人文環境等因子，評估地區災害潛勢與避難人數。接續，將兩者災害潛勢分析

屬性與資料，以地理資訊系統(GIS)進行圖層套疊與空間分析，如圖 4。依幾何面積、人口密度、災害避難人數等資訊可歸納複合性災害避難人數推估公式(7)與(8)，颱風與地震潛勢分析理論於下子節闡述。

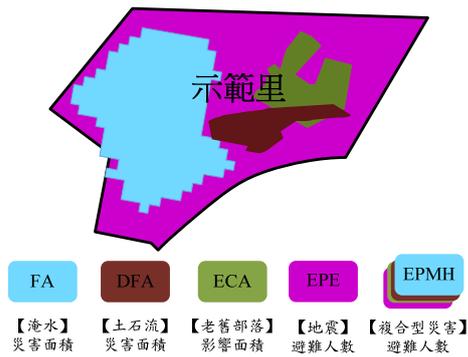


圖 4、複合性災害潛勢影響區域示意圖

$$EPTF = VPD \times (FA \cup DFA \cup ECA) \quad (7)$$

$$EPMH = EPE + EPTF - EPE \times \left[\frac{FA \cup DFA \cup ECA}{VA} \right] \quad (8)$$

其中，EPTF (Evacuation People for Typhoon and Flood) 為颶風災害避難人數(人)；FA (Flooding Area)為淹水災害面積(平方公尺)；DFA (Debris Flow Area)為土石流災害面積(平方公尺)；ECA (The Elderly Community Area)為老舊聚落面積(平方公尺)；EPE (Evacuation People for Earthquake)為地震災害避難人數(人)；EPMH (Evacuation People for Multi-Hazards) 為複合性災害避難人數(人)；VPD (Village Population Density)為里單位人口密度(人/平方公尺)；VA (Village Area)為里面積(平方公尺)

3-3-1 颶風災害潛勢分析

(一) 數值模擬

淹水潛勢係以扣除河川所佔的面積，數值模擬最可能發生的淹水情況，進而利用水文分析(圖 5)與淹水模式(圖 6)，建立降雨(包括降雨雨型與頻率)與各地淹水深度之關係(Lin, 2010)。而後，從淹水潛勢圖取二維淹水模擬範圍內之淹(積)水深度。

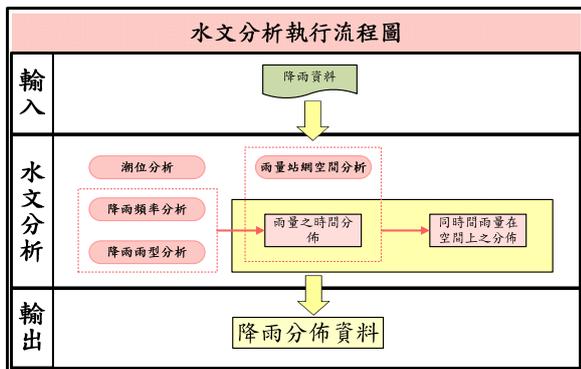


圖 5、水文分析執行流程圖

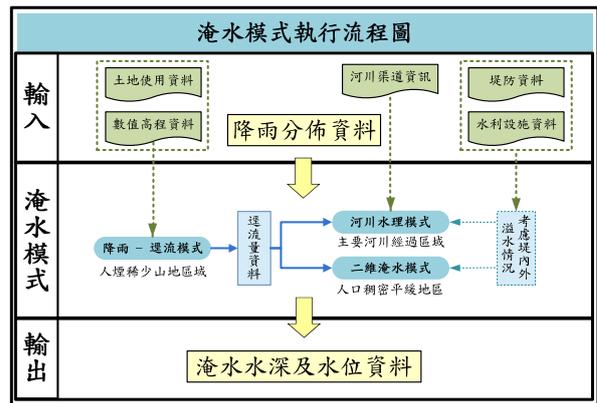


圖 6、淹水模式執行流程圖

(二) 現地踏勘

現地踏勘調查所蒐集之資料大致上可分為水文、地文與人文等三大類如表 7 (Chou, 2010)。透過現地勘查蒐集之資料與前述之數值模擬結果，可進一步繪製淹水潛勢圖，並應用於分析及相關救災規劃。

表 7、現地踏勘資訊蒐集分類

資料總類	資料細項
水文資料	河川流量、河川水位、河川含砂量、地下水水位、下水道、水利設備
地文資料	集水區、河川周遭資訊
人文資料	人口、經濟、歷史、民意動向

近年來坡地災害的潛勢增加，主要係氣候變遷與強降雨造成的影響，其它自然因素(如地震)以及人為因素(道路開發與山區休閒產業發展等)的影響亦需同時考量(許晃雄等，2011)，而針對土石流與老舊聚落潛勢評估與前述水文、淹水分析方式類似。

3-3-2 地震災害潛勢分析

影響地震災害的不確定性因素眾多，包含地震來源、地震強度、地震波傳遞方式、土壤性質、房屋形式以及人口分佈等，均會影響地震潛勢分析的結果，若欲評估廣大區域內的建築物受損情形，逐戶探討個別建築物在地震下的反應可能緩不濟急且無法通盤考量防救災規模，而適度採用統計方法係當下較為可行的方式。

TELES (Taiwan Earthquake Loss Estimation System)為「臺灣地震損失評估系統」的簡稱，其前身係根據美國研發之 HAZUS (FEMA, 1997)，為適合本土地理資訊環境所設計的地震災害潛勢分析軟體，由行政院國家科學委員會委託國家地震工程研究中

心研發，為目前國內地震災害評估的主要分析工具。TELES 結合學理以及統計的概念，評估研究區域因地震造成工程結構物或設施損害程度與避難人數等。其分析模式係以最大地表加速度(Peak Ground Acceleration, PGA)、最大地表速度(Peak Ground

velocity, PGV)和結構彈性反應譜做為地震災害潛勢分析的地表振動強度參數，結合地區的人文與工程結構物資料庫和分析參數資料庫，推測境況模擬結果。分析流程如圖 7，詳細理論可參考相關文獻(Yeh, 2002; Yeh, 2003; Yeh, 2006; Chou et al., 2013)。

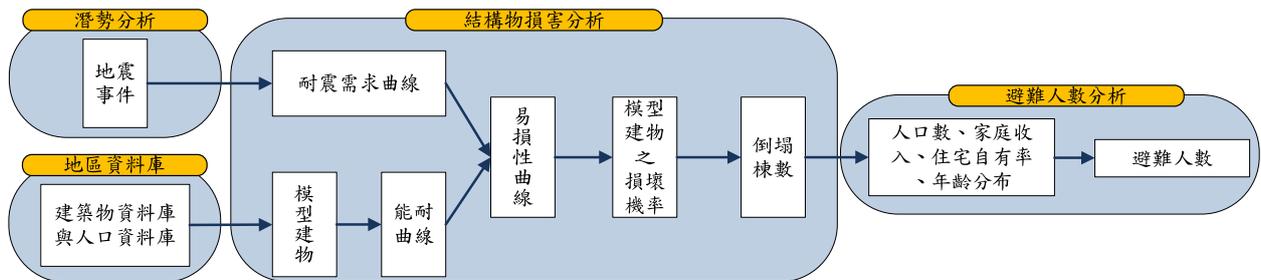


圖 7、臺灣地震損失評估系統分析流程圖

四、複合性災害潛勢分析與避難空間規劃

臺北市歷年遭逢的自然災害，主要有颱風淹水、土石流與地震。本研究從歷史災害記錄與氣候變遷趨勢，歸納可能的複合性災害潛勢，進行避難人數情境分析與收容能量評估。

4-1 複合性災害情境假設

颱風情境模擬，係以模擬 350mm/24hr、450mm/24hr、600mm/24hr 之降雨量情況，分別探討淹水深度達 30 公分與 50 公分之淹水區域。另，結合臺北市周圍潛在的斷層(宜蘭外海、山腳斷層與臺北南方)引致之八個地震事件(表 6)，總計四十八個複合性災害情境，如圖 8。

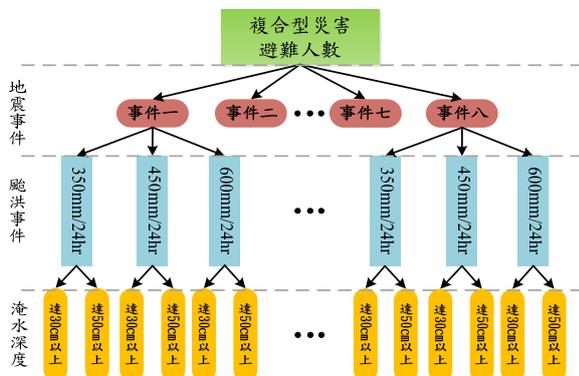


圖 8、複合性災害情境示意圖

4-2 複合性災害潛勢分析結合地理資訊系統之應用

災害潛勢分析的主要過程，包含蒐集潛勢圖資、地理資訊系統(ArcGIS)資料數化，將資料進行座標系統轉換，最後進行圖層的空間套疊與數據分析(Chou, 2011; Chou, 2012)。下列分述淹水、土石流、老舊聚落災害與地震潛勢影響人口推求方式。

4-2-1 災害潛勢影響人數推估

(一) 淹水潛勢

淹水潛勢圖為數值模擬(水文分析與淹水分析)與現地踏勘結合繪製成果，臺北市各行政區於淹水潛勢圖，係採 20 公尺x20 公尺網格為基本單位，以 GIS 辨識淹水潛勢圖的淹水深度達 30 公分與 50 公分以上之網格數乘以每網格面積 400 平方公尺。

另，依臺北市政府於民國 94 年提供的房屋稅籍資料，參考 TELES 彙整建築物分類類型(表 8)，調查臺北市各里的各類型建築物棟數。本研究就彙整的建築物棟數資料，假設各建物樓層數於淹水深度達 30 與 50 公分時，造成樓層 1 樓的民眾無法居住，而以式(9)評估該區建物樓層 1 樓受淹水影響範圍佔所有建築物的權數，最後導入式(10)再乘上人口密度而求得需避難的人數；而該地區人口密度先行由臺北市行政區中各里的人口數除以各里面積得知。

表 8、建築物分類系統

建物類型	種類	建築物樓層數	模型建物	
			層數	高度(m)
木造	1	All	1	4.2
鋼構造	2	1-3	2	7.2
	3	4-7	5	18.0
	4	8+	12	46.8
	5	All	1	4.6
輕鋼構造	6	1-3	2	6.0
	7	4-7	5	15.0
	8	8+	12	36.0
預鑄混凝土構造	9	1-3	2	6.0
	10	1-3	2	6.0
加強磚造	11	4-7	5	15.0
	12	1-2	1	2.7
	13	1-3	2	7.2
未加勁磚石造	14	4-7	5	18.0
	15	8+	12	46.8

$$\frac{\sum_{i=1}^{15} \text{第 } i \text{ 類型的建築物總棟數}}{\sum_{i=1}^{15} \text{第 } i \text{ 類型的建築物總棟數} \times \text{對應第 } i \text{ 類型建物層數}} = \text{受淹水影響權數} \quad (9)$$

$$\text{淹水影響面積} \times \text{人口密度} \times \text{受淹水影響權數} = \text{颱風災害避難人數} \quad (10)$$

i=該模型建物類型與對應樓層數，共 15 類。

(二) 土石流潛勢

當中央氣象局預報臺北市雨量達土石流潛勢溪流之警戒雨量值 500 mm/24hr 時，臺北市災害應變中心需對保全住戶進行勸導疏散；而實際雨量達警戒值時，有權進行撤離或強制疏散；然實務上，當實際雨量達 450mm/24hr 時，已需做好撤離準備。配合中央氣象局預報，即可推估受土石流潛勢影響人口。

(三) 老舊聚落災害潛勢

臺北市在早期都市發展過程中，許多隨著國民政府遷移來臺之退伍軍人及外縣市來臺北工作之民眾，因經濟條件不佳，為求居所即於山坡地週邊占用國、公有土地私自搭建違章建築，久而久之即形成山坡地聚落。這些聚落多為簡陋搭建之違章建築，除緊臨邊坡及排水系統不良外，且多位於潛在風險高之敏感地區或座落於崩積土層上等潛在危險環境，其並不適合居住，因此具有公共安全之潛在風險。此外，這些潛在風險又難以透過工程改善其危險程度，故每當颱風豪雨來襲，往往對聚落居民之生命財產產生威脅。

根據臺北市工務局大地工程處針對山坡地老舊聚落潛勢界定，當中央氣象局預報臺北市雨量

大於老舊聚落之警戒累積雨量值 300 mm/24hr(黃色警戒)，已逼近超豪大雨之影響，建議市級災害應變中心下達疏散避難勸告；到達警戒累積雨量值 400 mm/24hr 時為紅色警戒，已受超豪大雨之影響，建議市級災害應變中心強制疏散聚落居民疏散。在受影響人口推估，為老舊聚落保全住戶面積乘以該地區平均之人口密度求得。

(四) 地震潛勢

本節以山腳斷層為例，說明 TELES 地震境況模擬分析流程，進而求得地震潛勢影響人數。

1. 新增地震模擬事件

設定地震事件時，TELES 可根據使用者輸入的地震參數及匯入資料進行震災境況模擬。圖 9 為 TELES 使用者操作視窗，選定新增地震模擬事件 (Define New)，開始一個新的地震災害潛勢分析個案。

首先，在地震類型的下拉式選單內，依地震類型選擇“依已知的活動斷層位置與屬性資料”，選定資料庫內建之“山腳斷層”，此時系統自動產生斷層的震央經度與緯度數值(圖 10)。

2. 鍵入地震事件參數

利用提供的山腳斷層參數表 6(本操作範例為事

件二)，輸入地震規模與震源深度(圖 11)。

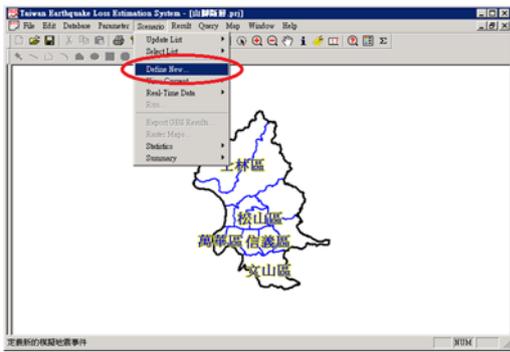


圖 9、臺灣地震損失評估系統操作視窗

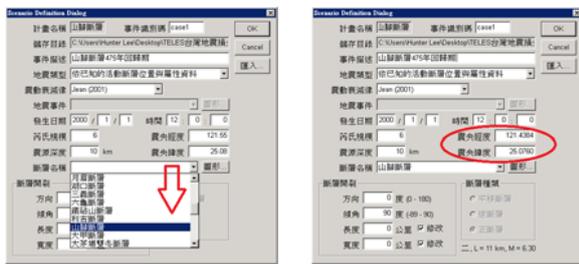


圖 10、輸入斷層參數與經緯數值

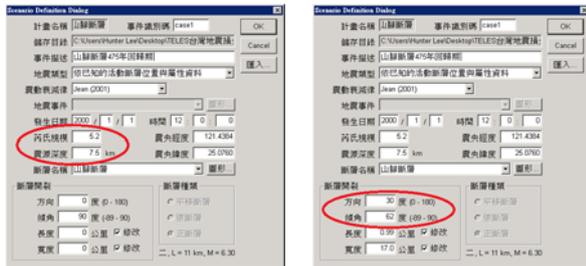


圖 11、輸入芮氏規模與震源深度

3. 匯出事件分析結果

表 9、臺北市颱風災害避難人數表

行政區	里人口數(人)	里面積(m ²)	颱風災害避難人數(人)					
			350mm/24hr		450mm/24hr		600mm/24hr	
			30cm 淹水達	50cm 淹水達	30cm 淹水達	50cm 淹水達	30cm 淹水達	50cm 淹水達
松山區	209,948	8,680,713.994	782	234	3,370	1,835	9,197	5,555
信義區	226,541	11,239,984.97	513	498	702	531	1,850	1,181
大安區	313,846	11,353,845.93	1,384	827	4,304	2,061	11,774	5,662
中山區	224,102	13,832,788.79	4,116	2,292	12,142	9,098	24,217	20,850
中正區	161,449	7,561,081.223	417	14	2,304	1,336	4,968	2,635
大同區	126,640	4,790,154.529	42	5	4,114	133	22,636	18,873
萬華區	190,855	7,449,694.555	1,083	480	4,743	2,242	11,800	7,735
文山區	266,442	31,250,288.01	570	313	2,539	1,548	6,602	4,999
南港區	116,131	21,956,733.4	289	178	1,072	902	2,738	1,989
內湖區	275,652	31,943,878.25	292	137	2,932	1,520	6,619	4,253
士林區	287,072	61,108,131.49	1,285	433	4,805	2,559	12,605	8,407
北投區	252,290	57,384,095.88	1,285	607	4,470	3,005	9,654	6,302
合計	2,650,968	268,551,391	12,058	6,018	47,495	26,772	124,659	88,441

完成境況模擬後，即可由“Results”選單中查詢模擬情形，在此僅提供 PGA 指數分佈圖做說明，如下圖 12 所示，選取“Results”→“PESH”，可獲得每一地區最大地表加速度值，其他各項分析結果，如避難人數、傷亡人數、火災數量與廢棄物量等，可以類似操作方式取得。然而，本文僅探討最大地表加速度值與避難人數。

Tract name	Tract no.	PGA
莊敬里	莊敬里	0.1229
東榮里	東榮里	0.1318
三民里	三民里	0.1268
新益里	新益里	0.1231
高錦里	高錦里	0.1247
新東里	新東里	0.1217
高杏里	高杏里	0.1239
介壽里	介壽里	0.1306
精忠里	精忠里	0.1374
東光里	東光里	0.1276
龍田里	龍田里	0.1318
東海里	東海里	0.1364
東勢里	東勢里	0.1328
中砂里	中砂里	0.1382

圖 12、各村里地震災害潛勢分析結果

4-2-2 災害潛勢之避難人數分析

表 9 與表 10 為依據前述原理分別推求臺北市颱風洪避難人數(淹水潛勢影響+土石流潛勢影響+老舊聚落災害潛勢影響)及臺北市地震模擬事件避難人數推估表，結合其他圖資即可應用地理資訊系統(ArcGIS)進行資料數化、套疊、聯集(Union)與交集(Intersect)等空間分析，繪製複合性災害潛勢分析圖。

表 10、臺北市地震災害避難人數表

行政區	里人口數 (人)	地震災害避難人數(人)							
		事件一	事件二	事件三	事件四	事件五	事件六	事件七	事件八
松山區	209,948	333	64	333	162	833	1,820	2,887	3,993
信義區	226,541	378	37	378	117	548	1,257	2,165	3,151
大安區	313,846	591	131	591	305	1,225	2,567	4,102	5,705
中山區	224,102	403	126	403	273	1,447	2,829	4,032	6,319
中正區	161,449	238	98	238	212	860	1,724	2,639	2,589
大同區	126,640	192	115	192	248	1,151	2,095	2,988	3,675
萬華區	190,855	317	160	317	350	1,513	2,742	4,034	4,190
文山區	266,442	550	27	550	114	552	1,274	2,266	3,324
南港區	116,131	180	7	180	34	203	483	871	1,473
內湖區	275,652	312	19	312	74	619	1,569	2,573	3,608
士林區	287,072	155	132	155	320	2,391	4,848	7,459	4,015
北投區	252,290	122	129	122	312	3,043	6,723	10,263	2,835
合計	2,650,968	3,769	1,045	3,769	2,522	14,384	29,931	46,278	44,877

4-2-3 複合性災害潛勢圖與避難人數分析

參考過去納莉颱風引致之颱洪災害造成臺北市災情慘重，當時臺北測站測得單日最大降雨量為 425 毫米；另，考量山腳斷層對臺北盆地最具威脅性，本研究假設複合性災害發生二十四小時累積雨量達 450 毫米與山腳斷層地震事件四(PGA=0.32g)之情境，作為本研究針對複合災情的潛勢分析案例。藉由 GIS

空間分析，可求得在 450mm/24hr 降雨量與地震事件四情況下的避難人數結果(表 11)。可發現淹水達 50cm 的中山區與北投區影響人口分別佔總影響人口比例之 31.78%、11.30%，相較於其他行政區高出許多，須針對該兩區加強相關防護、防災措施及後續避難收容規劃。

表 11、臺北市複合性災害避難人數結果呈現表

行政區	人口數 (人)	450mm/24hr 與事件四			
		淹水達 30cm 避難人數 (人)	%	淹水達 50cm 避難人數 (人)	%
松山區	209,948	3,538	7.07	2,009	6.83
信義區	226,541	836	1.67	667	2.27
大安區	313,846	4,612	9.22	2,378	8.09
中山區	224,102	12,369	24.73	9,342	31.78
中正區	161,449	2,517	5.03	1,554	5.29
大同區	126,640	4,347	8.69	392	1.33
萬華區	190,855	5,079	10.15	2,595	8.83
文山區	266,442	2,672	5.34	1,682	5.72
南港區	116,131	1,114	2.23	947	3.22
內湖區	275,652	3,024	6.05	1,612	5.48
士林區	287,072	5,128	10.25	2,899	9.86
北投區	252,290	4,780	9.56	3,323	11.30
合計	2,650,968	50,016	100.00	29,400	100.00

此外，以臺北市十二行政區的複合性災害潛勢分析數據繪製 450mm/24hr 降雨量與地震事件四的複合性災害潛勢圖為例(如圖 13)，可依本文所研擬之系統化分析流程，繪製多種可能的情境成果，希冀提供政府單位於災害管理之減災、整備與應變階段之

避難收容空間規劃與救災資源配置等決策資訊。

4-3 複合性災害之收容能量評估

欲降低災害對居民生命財產的衝擊，平時即規劃適當之避難空間係刻不容緩的因應對策。本研究參照臺北市災害防救深耕計畫(Chou, 2010; Chou,

2011; Chou, 2012)對於避難場所進行問卷調查與現地踏勘成果，統計臺北市十二行政區內的「防災公園」、「區民活動中心」、「學校」及「運動中心」之最大可收容人數。

考慮複合性災害同時性造成颱洪與地震之大規模危害事件，如何讓居民在災害發生時，能有安全的場所得以暫時避開危險區域，提供臨時避難處所，而後再進行災民護送及復原作業為救災避難重點；因此本研究以 921 地震組合屋的實務經驗，假設每人所需使用避難空間最少為4m²評估所需的總收容面積。

根據臺北市收容空間彙整資料與災害潛勢之避難人數推估比較結果(表 12、圖 13)顯示，若淹水達 30cm、50cm 與地震事件四同時發生，中山區的收容空間偏低，以風險管理觀點，因應之道為優先針對收容能量不足之行政區額外增設具臨時避難空間或與其他行政區(縣市)聯防，以利後續災害應變作業。

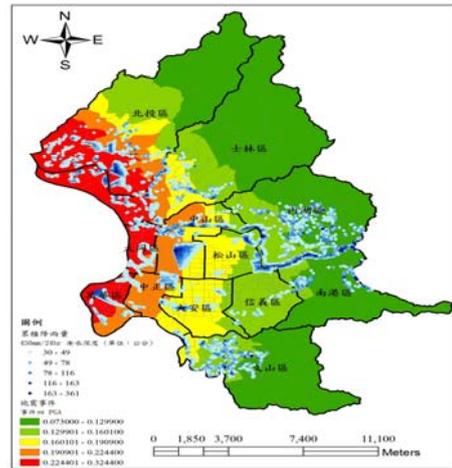


圖 13、累積雨量 450mm/24hr 與地震事件四之複合性災害潛勢圖

五、臺北市複合性災害之避難人數決策資訊

除前述之靜態評估臺北市十二行政區之避難收容能量，本研究擴展複合性災害潛勢分析數據庫，應用資料探勘技術建構預測模型，並藉以繪製避難人數動態評估曲線。

表 12、避難人數與收容人數比較(地震事件四+淹水情境)

行政區	人口數(人)	總收容人數(人)	避難人數(人)		避難人數/收容人數	
			450mm/24hr 淹水達 30cm	450mm/24hr 淹水達 50cm	450mm/24hr 淹水達 30cm	450mm/24hr 淹水達 50cm
松山區	209,948	11,152	3,538	2,009	0.32	0.18
信義區	226,541	7,076	836	667	0.12	0.09
大安區	313,846	58,466	4,612	2,378	0.08	0.04
中山區	224,102	7,468	12,369	9,342	1.66	1.25
中正區	161,449	11,817	2,517	1,554	0.21	0.13
大同區	126,640	11,482	4,347	392	0.38	0.03
萬華區	190,855	38,654	5,079	2,595	0.13	0.07
文山區	266,442	15,755	2,672	1,682	0.17	0.11
南港區	116,131	15,738	1,114	947	0.07	0.06
內湖區	275,652	8,329	3,024	1,612	0.36	0.19
士林區	287,072	12,629	5,128	2,899	0.41	0.23
北投區	252,290	12,195	4,780	3,323	0.39	0.27
合計	2,650,968	210,761	50,016	29,400		

正規化後，進行模型建構。

$$D_{\text{normal}} = \frac{(V - V_{\text{min}})}{(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})} \quad (11)$$

其中， D_{normal} 為正規化值； V 為該屬性資料的原始值； V_{min} 為屬性資料的最小值； V_{max} 為屬性資料的最大值。

另外，在颱風災害方面考量降雨量結合地區環境特性的水文與淹水分析(圖 5、圖 6)造成不同程度的淹水影響，發現臺北市 456 里在面積分佈有極大差異(例如北投區湖田里為萬華區凌霄里面積的 514.32 倍)，因此將面積參數轉換成淹水面積百分比。

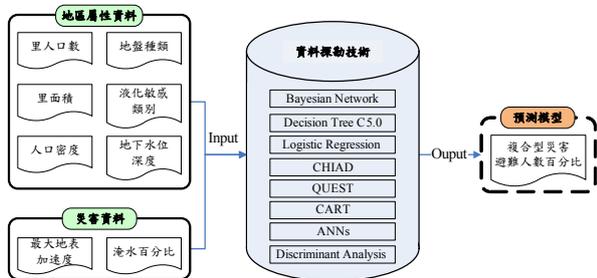


圖 16、避難人數預測模型建構流程圖

又因臺北市各里的人口分佈差異(例如文山區老泉里與內湖區五分里的人口差距達 12.06 倍)，故採避難人數百分比做輸出屬性，如式(12)。資料屬性於資料前處理階段由 31 個輸入屬性，依統計檢定及相關性分析篩選至 8 個屬性資料。

$$\text{里避難人數百分比} = \left(\frac{\text{里避難人數}}{\text{里總人口數}} \right) * 100 \quad (12)$$

5-3 模型建立與交叉驗證

模型建構與驗證流程如圖 17。

1. 步驟 1：選擇資料庫來源。
2. 步驟 2：設定輸入及輸出屬性，輸入(Input)：里人口數、里面積、人口密度、地盤種類、液化敏感類別、地下水位深度、最大地表加速度(PGA)、淹水百分比；輸出(Output)：避難人數百分比。
3. 步驟 3：Kohavi (1995)指出，使用分層的十群交叉驗證(cross-fold validation)的模型具高效率且可靠度佳，使訓練與測試的資料均勻分佈(Kohavi, 1995)。故將資料隨機獨立分組(1-fold, 2-fold, ..., 10-fold)，依序代入預測模型進行訓練與測試資料的交叉驗證。
4. 步驟 4：為求分析便捷，本研究選用 IBM SPSS Clementine 12.0 內建分類預測模型的探勘技術，進行資料預測，包括 BN (貝氏網路)、C5.0 (決策樹演算法)、LR (邏輯迴歸)、CHAD (卡方交叉自動檢驗)、QUEST (快速不偏有效統計樹)、CART (分類回歸樹)、ANNs (類神經網路)與 DA (區別分析)(SPSS Inc.)。
5. 步驟 5：模型結果評估與判定。

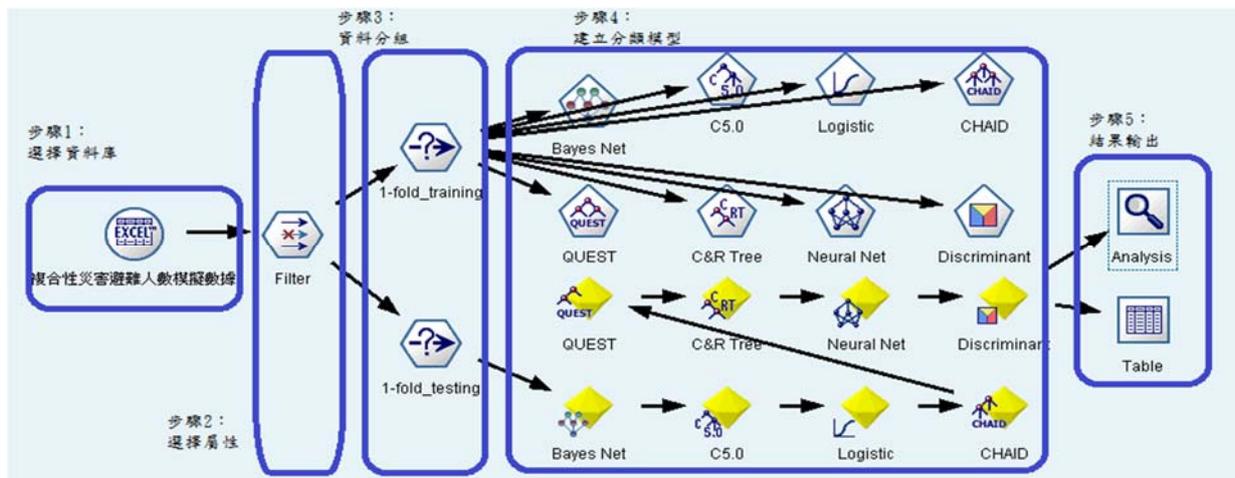


圖 17、模型建構與驗證流程示意圖

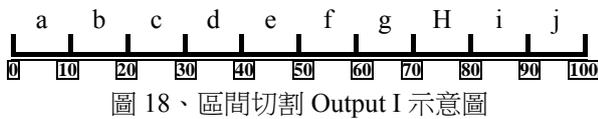
其中，在目標值資料嘗試以數值型(range)與名目式(sets)型態預測結果，經資料分成十群的交叉驗證

結果，發現輸出(Output)值為名目式型態的準確率相較於數值型態佳。因此本研究將避難人數百分比的

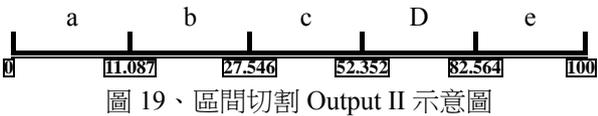
數值型資料，轉換成名目型資料進行交叉分類驗證，即利用一組符號集合(sets)，分別代表各區間內的連續數值。

然而，目前依不同災害類型與地區特性所劃分的災害尺度，尚無統一的定義與劃分標準。為求適當之連續資料區間分割，以試誤法將避難人數百分比資料依等距法分 10 等分(Output I)(圖 18)，及積分等分面積成 5 等分(Output II)(圖 19)，分別建構分類預測模型。

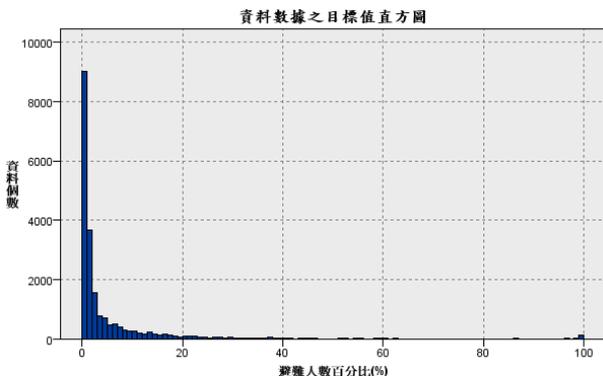
Output I :



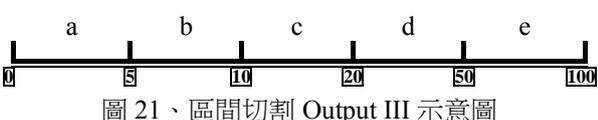
Output II :



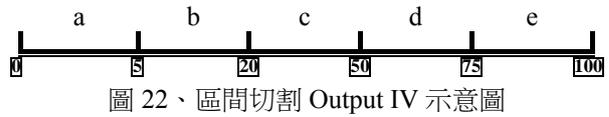
另，參考 Gad-el-Hak (2008)與國家災害防救科技中心(2011)對地震災害與颱風災害的量化等級，大致採非線性的對數 (logarithmic) 方式分成五等 (Gad-el-Hak, 2008; 國家災害防救科技中心, 2011)。本研究依此邏輯透過直方圖顯示目標值(依變數)的數值分佈如圖，依避難人數百分比概分 3 組非線性災害尺度(Output III (圖 21)、Output IV (圖 22)與 Output V (圖 23))。之後，即依上述設定分別進行後續資料探勘與交叉驗證分析。



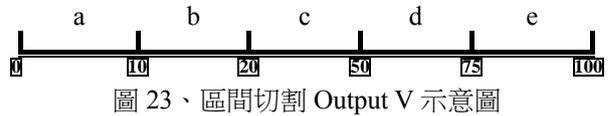
Output III :



Output IV :



Output V :



於分類模型建立後，參照常用的評估績效指標，本研究依正確率(Accuracy)、第一型誤差(Type I error)與第二型(Type II error)誤差進行檢測，正確率公式如式(13)：

$$\text{正確率} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100\% \quad (13)$$

表 13、虛無假設的混亂矩陣

	推斷為接受	推斷為拒絕
測試實際		
接受虛無假設 (Positive)	正確接受H ₀ (TP)	第一型錯誤 (FP)
拒絕虛無假設 (Negative)	第二型錯誤(FN)	正確拒絕H ₀ (TN)

5-4 分析結果與曲線繪製

依準確率平均值的排序結果，顯示 Output V 將避難人數百分比分類為 0%~10%、10%~20%、20%~50%、50%~75%與 75%~100%五等分之平均準確率最高；其中又以決策樹 C5.0 演算法(Decision Tree C5.0)的準確率最優；其次為邏輯迴歸(Logistic Regression, LR)與分類回歸樹(Classification and Regression Tree, CART)；值得注意的是，其他四組 (Outputs I-IV)的分析結果顯示皆以 C5.0 與 LR 的分析技術最為準確，達 98%以上。

針對分析結果的假設檢定如下：

虛無假設 H₀: 預測區間值 = 實際區間值

對立假設 H₁: 預測區間值 ≠ 實際區間值

因此，假設檢定過程若接受虛無假設H₀:預測區間值=實際區間值，則顯示該避難人數分類預測模型所預測的避難人數區間值結果，可以做為防救災人員推估地區遭受該複合性災害情境所需避難人數之用。

假設檢定過程若拒絕接受虛無假設H₀:預測區間

值=實際區間值，而接受對立假設 H_1 :預測區間值 \neq 實際區間值時，則該避難人數分類預測模型所預測的避難人數區間值結果無法在統計顯著水準下(本研究為 5%)準確預測需避難人數，可能會致使防救災決策規劃避難人數有低估或高估的現象，造成災害防救作業上的相對成本損失問題。

表 14 呈現複合性災害避難人數百分比的交叉驗證準確率(Accuracy)、第一型誤差(Type I error)與第二型誤差(Type II error)檢測。值得一提的是，依目標

值的資料分佈型態(圖)，顯示避難人數百分比為正偏態(positively skewed)分佈，因此隨著第一型誤差(alpha value)的提升，顯示若預測結果受到低估的時候，潛在的成本損失(延誤救援或未能及時搶救)隨之提高；反之，則降低。因此，除依避難人數百分比的預測準確率，選擇第一型誤差比第二型誤差(beta value)低的分類技術，當其整體的預測結果比實際避難人數還要高時，成本損失相對較低。

表 14、Output V 交叉驗證結果 (單位：%)

	Avg. Accuracy	Avg. Type I error	Avg. Type II error
Bayes Net	90.47	28.16	11.07
C5.0	99.47	1.40	1.35
Logistic	99.32	1.38	1.37
CHAID	93.93	34.24	24.15
QUEST	99.08	2.24	2.15
CART	99.09	2.51	1.55
Neural Net	99.00	4.63	3.85
Discriminant	95.91	5.92	12.03

最後，本研究即依分類預測模型 C5.0，彙整臺北市 456 個里，將災害潛勢分析資料屬性經避難人數準確的預測，篩選屬性資料結果得以繪製十二行政區的避難人數百分比推估曲線。以地震事件四與颱風災害之複合性情境為例，決策單位可即時依 24 小時累積降雨量，淹水深度達 30 公分或 50 公分時，

推測各行政區需因應的避難人數(圖 24 與圖 25)；反之，由現行區內的避難空間亦可藉由圖表評估地區的複合性災害容受力。本評估成果考量地區災害脆弱性與相關基礎設施，提供防災與應變決策之避難人數資訊。

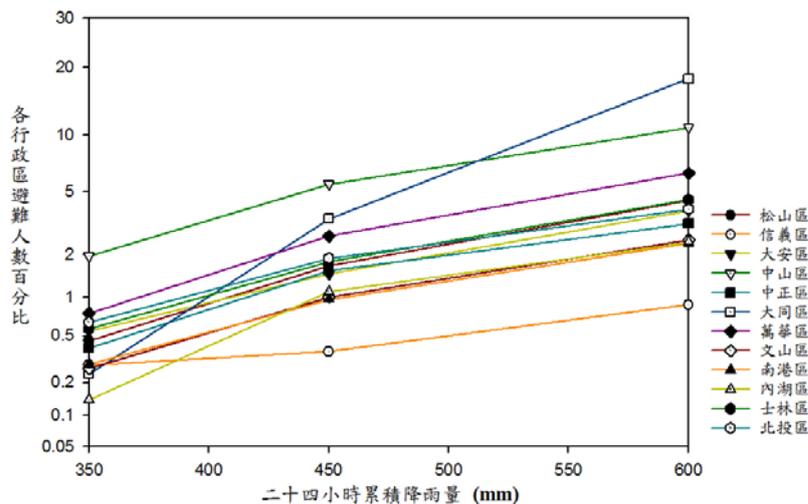


圖 24、地震事件四+颱風災害(淹水達 30 公分)之區級避難人數評估曲線

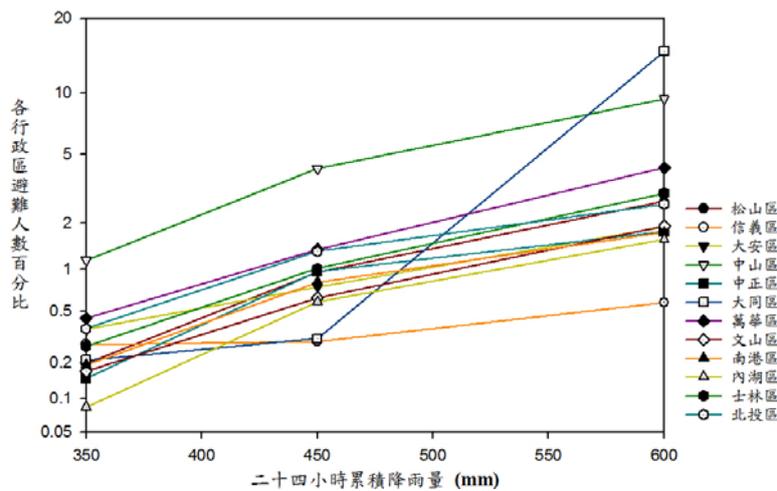


圖 25、地震事件四+颱風災害(淹水達 50 公分)之區級避難人數評估曲線

六、結論與建議

本文探討臺北市天然災害的潛勢環境，蒐集過去災情與地區潛勢的資料，進行臺北市複合性災害(淹水潛勢、土石流潛勢、老舊聚落影響區域與地震潛勢)的避難人數推測與臺北市的避難收容能量評估。其次，結合地理資訊系統與資料探勘技術，將複合性災害潛勢分析結果以靜態圖層與動態的評估曲線，呈現潛在影響人數，本研究於下提出主要的研究成果與建議。

1. 臺灣位處西太平洋颱風軌跡與太平洋火環帶天然災害頻繁地區，特別是臺北市屬臺灣政經首府，為高人口密度與高開發地區，一旦發生災害，影響規模甚劇。本文回顧臺北市地質與氣候環境，探索臺北市於颱風災害面臨的淹水、土石流、老舊聚落等潛勢因子以及臺北市附近的潛勢斷層，包含宜蘭外海、山腳斷層與臺北南方隱沒帶的地震潛勢，進而評估臺北市十二行政區的避難人數與收容能量。
2. 以單日累積降雨量 450 毫米伴隨地震芮氏規模 5.5 (事件四，PGA=0.32g)的複合性情境，淹水深度達 50cm 為例，分析結果顯示中山區與北投區的避難人數高於其他 10 個行政區，分別為於 31.78%、11.30%。故平時可優先針對這些區域進行災害防範對策與避難收容規劃，並強化災害應變措施與救災作業。
3. 根據收容能量評估結果發現若複合性災害情境

於淹水達 50cm 伴隨地震芮氏規模 5.5 (事件四，PGA=0.32g)，中山區的收容能量明顯不足。建議研擬整備策略與增設避難收容空間，減少居民避難時無所依循的情況發生。

4. 動態評估曲線建構過程中，本研究將避難人數百分比(目標值)利用不同級距給予文字(sets)進行預測(即數值型資料轉換為名目式資料)。結果顯示，將避難人數百分比依對數(logarithmic)方式分成 0%~10%、10%~20%、20%~50%、50%~75% 與 75%~100%等五等分，所得平均準確率最高，其中又以決策樹演算法(Decision Tree C5.0)的 99.47% 最優；其次為邏輯迴歸(Logistic Regression, LR)的 99.32% 與分類回歸樹(Classification and Regression Tree, CART)的 99.09%。
5. 避難人數評估曲線的動態資訊，於災時應變階段能藉由交叉查表方式，迅速初步評估臺北市各行政區的避難人數，提供救災單位面對災民疏散避難調度工作等災時應變的決策資訊。
6. 災害潛勢與防災地圖係標示全臺灣各鄉鎮地區可能發生災害的位置、防災疏散避難處所、相關物資運送路線與現有防救災資源位置，希望透過區級防救災地圖促使當地居民進一步認識自我生活環境周遭相關的災害潛勢，平衡中央與地方居民對災害資源和災害資訊的掌握度，提升災害防救意識。

7. 本研究以地震+颱風淹水+土石流+老舊聚落災害潛勢考慮複合性災害之極端影響，繪製複合性災害潛勢地圖並進一步推求避難人數決策資訊。期許一般民眾於極端性災害情境下，藉由區級防救災地圖獲得疏散避難方向指引，對於區域指揮官亦可藉以有效提升災害防救作業之執行。

七、誌謝

本研究承蒙臺北市政府消防局委託研究案「臺北市災害防救深耕計畫」，以及行政院國家科學委員會多年期整合型研究計畫「極端氣候下都市複合性災害潛勢評估與防災作業之研究-以臺北市為例」於研究執行期間的支持與協助，特此致謝。

八、參考文獻

- Central Geological Survey, 2011, "Active Fault Map of Taiwan," from <http://fault.moeacgs.gov.tw/TaiwanFaults/Default.aspx>
- Chou, J.-S., 2010, Technical Report: The Disaster Prevention and Protection Project of Taipei City (first phase). Taipei City Fire Department, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center, National Taiwan University of Science and Technology.
- Chou, J.-S., 2011, Technical Report: The Disaster Prevention and Protection Project of Taipei City (second phase). Taipei City Fire Department, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center, National Taiwan University of Science and Technology.
- Chou, J.-S., 2012, Technical Report: The Disaster Prevention and Protection Project of Taipei City (third phase). Taipei City Fire Department, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center, National Taiwan University of Science and Technology.
- Chou, J.-S., Ou, Y.-C., Cheng, M.-Y., Cheng, M.-Y., Lee, C.-M., 2013, "Emergency Shelter Capacity Estimation by Earthquake Damage Analysis" *Natural Hazards*, Vol. 65, No. 3, pp. 2031-2061.
- Chou, J.-S., Yang, K.-H., Cheng, M.-Y., Tu, W.-T., 2013, "Identification and assessment of heavy rainfall-induced disaster potentials in Taipei City," *Natural Hazards*, Vol. 66, No. 2, pp. 167-190.
- Construction and Planning Agency Ministry of the Interior, 2011, *Seismic Design Specifications and Commentary of Buildings*.
- Council of Agriculture. Executive Yuan, 2010, *Soil and Water Conservation Bureau*.
- FEMA, 1997, *Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS97. Technical Manual*. Vol. 1.
- Gad-el-Hak, M., 2008, *Large-Scale Disasters*, Cambridge University Press.
- Kohavi, R., 1995, "A study of Cross-validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Montreal, Quebec, Canada, Morgan Kaufmann Publishers Inc. 2: pp. 1137-1143.
- Lin, G. F., 2010, *Upgrading Potential Inundation Maps of Tamsui River, Taipei City, Taipei County, Taoyuan County, and Keelung City*, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs.
- SPSS Inc., 2008, *Clementine 12.0 Algorithms Guide SPSS*.
- Taipei City Disaster Prevention and Rescue Information, 2013, "Disaster Prevention and Protection Plan," from http://tdprc2.tfd.gov.tw/taipeicityems1_public/Org/DisasterPrevention. United States Geological Survey, 2004, *Pacific Ring of Fire*.
- Wells, D. L., and Coppersmith, K. J., 1994, "New Empirical Relationships among Magnitude, Reupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement," *Bulletin of the*

- Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4: pp. 974-1002.
16. Wu, Y.-M., Chang, J.-H., and Chen, C.-C., 2002, "Near Realtime Prediction of PGV Map and Preliminary Damage by Using Seismic Rapid Reporting System," Central Weather Bureau-Seismological Center.
 17. Yeh, C.-H., 2002, "Integration Study on the Earthquake Disaster Scenario Simulation and its Application Software," National Center for Research on Earthquake Engineering. Taipei.
 18. Yeh, C.-H., 2003, Taiwan Earthquake Loss Estimation System- (TELES). National Center for Research on Earthquake Engineering. Taipei.
 19. Yeh, C.-H., 2006, "Study on the Integration of Seismic Hazard Analysis and Disaster Simulation Technology (I)," National Center for Research on Earthquake Engineering. Taipei.
 20. Yeh, C.-H., Jean, W.-Y., Lin, C. J., Chou, K.-W., Chen, W.-C., and Chang, Y.-W., 2010, "Earthquake Risk Assessment of TREIF Scheme," National Center for Research on Earthquake Engineering.
 21. 國家災害防救科技中心，2011，颱風災害規模研究計劃。
 22. 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明，2011，「臺灣氣候變遷科學報告」，國家災害防救科技中心。
 23. 經濟部水利署，2010，水災危險潛勢區域疏散避難標準作業程序，中華民國 99 年 5 月 5 日經授水字第 09920221710 號函修正。
 24. 經濟部水利署水利防災中心，2011，縣市政府抽水機運用作業流程。
 25. 鍾弘遠，陳高德，2003，臺北市邊坡管理經驗，<http://www.twce.org.tw/twce/%E7%9F%A5%E8%AD%98%E5%BA%AB/00109/4/%E9%8D%BE%E5%BC%98%E9%81%A0%E3%80%81%E9%99%B3%E9%AB%98%E5%BE%B7-%E8%87%BA%E5%8C%97%E5%B8%82%E9%82%8A%E5%9D%A1%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%B6%93%E9%A9%97.doc>。

投稿日期：2013/05/08。

送審日期：2013/05/09。

審畢日期：2013/06/13。

修改日期：2013/06/24。

接受日期：2013/06/25。