

利害相關者對颱風災害預警系統規劃要素之 價值評估：多屬性效用理論之應用

洪鴻智* 林家鈺

氣候變遷與極端天氣帶來的挑戰，使許多國家致力於建置災害預警系統，以降低傷亡與風險，及促進公共衛生與安全。然預警系統規劃過程，需更廣納利害相關者參與及不同價值觀，以利於溝通與降低衝突。本文主要目的，在於探討利害相關者對颱風災害預警系統價值判斷，及對其構成要素之偏好選擇，以提供災害風險管理決策參考。文中應用多屬性效用理論(multi-attribute utility theory)，透過政府官員與專家問卷調查，引用價值函數與多變量分析，比較受訪者對預警系統不同構成因素重要性之判斷與偏好。分析結果發現政府官員與專家對預警系統設計考慮的要素，多數無顯著差異；多偏重在技術、容易標準化及「由上而下」之因素。認為主導預警系統運作的核心，仍以災害資訊提供及緊急應變為主，較忽略末端使與者反應與調適行為。因災害潛勢與衝擊充滿不確定性，公共安全與災害風險管理難完全依賴科技。而更有效掌握居民脆弱度與調適力分布，及藉由雙向溝通與利害相關者參與，建立居民導向之預警與緊急救助系統。(台灣衛誌 2015；34(4)：349-361)

關鍵詞：預警系統、災害風險溝通、公共安全、多屬性效用、調適

前言

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第五版評估報告指出東亞地區[1]，將因氣候變遷與極端天氣事件加劇，而增加災害脆弱度與風險。尤其是缺乏妥善災害風險管理與預警地區，將更可能增加颱風災害傷亡與損害。颱風災害風險的形成，非單純天然環境產物，而是人類與環境互動結果[2,3]。尤其在公共衛生領域，非常強調預警系統或災害防救機制須扮演風險溝通角色，以協助社區居民瞭解災害風險，及推動適合

的調適與公共安全策略[4,5]。預警系統規劃或設計，因而非單純提供科學災害預測資訊，尚需考慮利害相關者(指與預警系統設計決策，及受決策影響之相關個人與團體)參與、媒體介面、防災設施特性，及政府整備與災害風險管理配套措施[6]。

行政院農業委員會水土保持局[7]、林務局、經濟部水利署[8]、交通部氣象局、公路總局等單位，皆積極推動災害資訊提供與災害發生時的疏散避難工作。這些工作主要希望透過災害相關資訊、災害潛勢與地圖提供(如颱風災害、土石流等)，協助居民進行災害整備、應變、疏散，及誘發災害調適行為，以建置災害預警系統[9,10]。

多數國家預警系統，多偏重供給面與資訊提供。強調災害潛勢預測、系統模擬與設計，及透過「由上而下」方式建置預警系統[5,6]。因而強調技術開發，較忽略社區居民特性及對預警系統的認知與使

國立台北大學不動產與城鄉環境學系

*通訊作者：洪鴻智

聯絡地址：新北市三峽區大學路151號

E-mail: hung@mail.ntpu.edu.tw

投稿日期：103年10月22日

接受日期：104年5月14日

DOI:10.6288/TJPH201534103111



用需求，造成預警系統供給與末端使用者的隔閡。故ISDR (International Strategy for Disaster Reduction)在「兵庫行動綱領(Hyogo Framework for Action)2005-2015」[11]，提出預警系統是一種社會系統，需以居民或社區需求為系統設計依據。尤其需奠基在災害風險管理基礎上，廣納利害相關者價值、社會與實質環境特質、災害回應與風險管理內涵，以提升預警系統效能[12,13]。

一般認為預警系統規劃，是政府與專業者科學分析工作。但鮮少討論系統設計者，對於預警系統的整體設計理念與價值判斷。特別是政府決策者與專家，如何選擇預警系統構成要素，不但攸關預警系統設計內涵，亦會影響系統如何進行風險溝通及選擇風險管理策略。故瞭解專家與政府設計預警系統理念與價值體系，有助於探討預警系統設計與使用者行為產生落差之原因，而有利於降低衝突及改善災害風險溝通及災害預警系統設計效能，以建置良好的公共安全政策。

本文主要目的，乃應用多屬性價值理論(multi-attribute value theory; MAVT)[14]，探討利害相關者對颶風災害預警系統的價值判斷，及對預警系統構成要素之選擇偏好。文中將建置颶風災害預警系統架構體系，藉由政府官員與專家問卷訪談，及應用價值函數與多變量分析，探討受訪者對預警系統構成因素之價值選擇、排序，及比較不同受訪者偏好差異。分析結果可提供相關單位，建置颶風災害預警系統，及推動災害風險溝通與風險管理政策之參考。

災害預警系統與組成

因應用與研究目的差異，不同領域對預警系統的界定仍有一些爭議。較廣泛使用之定義，乃ISDR所提：「透過特定組織，提供即時與有效資訊，使暴露在災害的個人或團體，可採取行動避免或降低風險，及有效因應與準備[15]。」故災害預警為整合性系統，其設計內容包含四項互相關聯要素：(1)風險資訊與知識，(2)監測與預警措施，(3)傳播與溝通，與(4)反應能力[12]。

一般在預警系統設計，風險資訊與知識提供、監測與(早期)預警設施，常是最強調的功能。各國建置預警系統，多搭配防災工程，希望透過災害預測、即時環境與災害監測，整合工程設施，提供居民災害風險與防災資訊，降低災害損失、傷亡與衝擊[13]。尤其如何強化技術開發、系統整合，提升資訊品質，及增加對災害衝擊與風險之估計精度，常為討論之核心[4-6,16,17]。

1980年代起，歐美許多國家開始檢討1950年代以來，工程導向的洪災管理模式[18]。指出各國預警系統建置，較缺乏從使用者或從系統與民眾互動觀點，思考預警系統設置課題。尤其預警系統在整合災害(風險)衝擊預測過程，涉及許多科學與監測技術不確定性。故預警系統設計，不能只偏重硬體與供給面，而需考慮系統傳播溝通介面，及使用者決策行為與防災能力[16,19]。

為使災害預警系統運作執行更具效能，其需協助決策者選擇合適的風險管理措施，提升居民瞭解災害風險特性與預警計畫、進行互動與溝通，及輔導居民瞭解預警系統內涵[20]。傳播與風險溝通需藉由傳播系統建置，配合地區實質與社會經濟環境特性，透過不同媒體管道、平台設置、語言選擇與預警內涵設計，使預警訊息接受者能採取適當行動與調適措施[2,21]。然預警系統資訊提供，能否直接誘導合適的災害應變或調適，仍有許多變數。因預警系統建置涉及跨領域整合與部門參與，不同組織與單位可能因災害管理目標差異、專業用語紛歧、傳播方法紛爭與預警訊息內涵歧見，產生許多不確定性，而降低預警系統效能與災害調適力[22,23]。

關於預警系統評估，近年來強調從使用者角度，探討預警系統與使用者互動機制，及使用者對預警訊息接收、瞭解、信任，及可能採取之行為與反應能力[2]。許多研究應用社會心理學，例如，防護行動決策理論(protective action decision theory; PADT)，從群眾與災害風險資訊互動的社會與環境脈絡，探討預警系統與使用者的風險溝通議題[24]。另外防護動機理論(Protection Motivation Theory; PMT)

on theory; PMT)及其延伸應用，則從行為角度解釋民眾面對預警資訊不確定時，災害資訊解讀、信任、風險知覺(risk perception)、認知態度與調適評估，對個體災害反應與調適行為之影響[25,26]。

PADT與PMT乃從個體或社區集體層面，探討預警系統使用者對於預警系統與災害認知、動機、評估、回應程序與行為特性[27,28]。此等領域相關研究，認為個體之社會經濟條件與脆弱度、政府政策、社會網絡、實質環境條件、災害知識與經驗會影響風險知覺，進而左右災害探索程序、認知內涵，及災害反應與調適策略選擇[3,12,24,29-31]。

透過上述可知預警系統是跨部門整合性機制，其設計內涵須涵蓋「由上而下」與「由下而上」的組成要件。然國內預警系統相關研究，仍較缺乏從整合性觀點探討預警系統的組成要素，及不同要素扮演的角色。故本研究從整合性角度，綜合災害資訊、地區實質與社會經濟環境條件、災害風險管理制度與社會網絡等外在條件，及民眾災害風險知覺、信任及災害反應、調適評估等內在

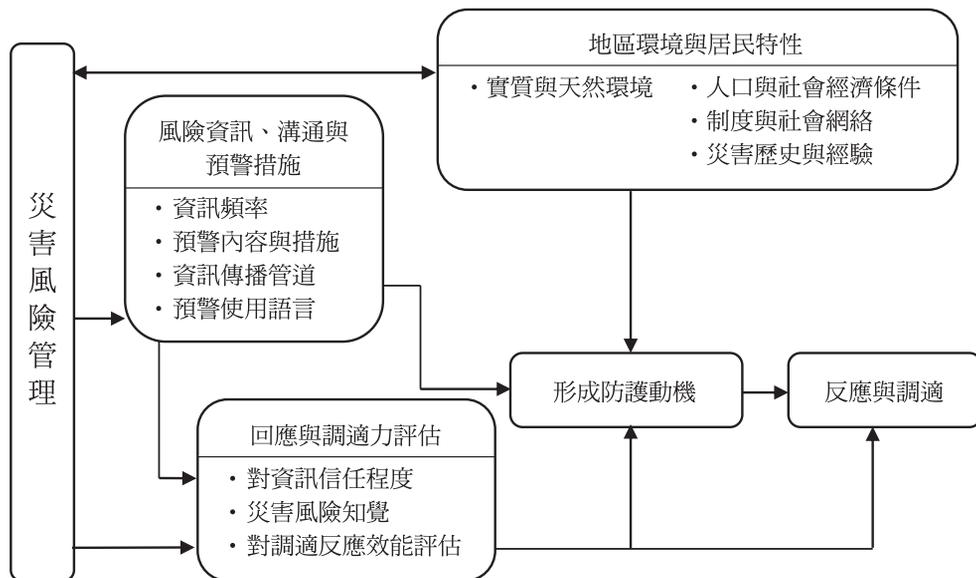
條件，設計以下之分析架構。

方法與資料

一、颱風災害預警與反應架構

依據ISDR的界定[15]、文獻回顧，及整合 PADT與PMT，本研究提出颱風災害預警與反應架構(typhoon-flood hazard warning system and response framework; THWSRF)，以建置預警系統。圖一顯示THWSRF內涵，及預警系統影響居民災害回應與調適行為因素。最左邊顯示預警系統設計，需奠基在災害風險管理機制下，提供災害資訊、溝通內涵與預警措施，包含：預警資訊頻率、預警內容與措施、傳播管道(與方式)與使用語言。此部分為THWSRF主要內涵，攸關颱風災害風險資訊相關技術整合，傳播與溝通內涵與管道設計，及居民災害反應、調適動機及相關行為。一般資訊提供頻率愈高、管道與語言愈多元、內容愈詳盡，愈可提升防護動機及調適行為[6,16,17]。

PMT指出，居民災害反應與調適，會受防護動機及災害回應與調適力評估影響



圖一 颱風災害預警系統與反應架構

[25,26]。回應與調適力評估之組成因素包含：災害資訊信任、風險知覺，及對調適行為防災效能評估。其會受到政府災害風險管理策略，及提供之風險資訊、溝通與預警措施影響[26]。換言之，預警系統設計與溝通內涵，會左右使用者對災害風險資訊瞭解與信任程度，及對調適成本－效益的評估，因而進一步影響防護動機、災害反應與調適行為[32]。

依PADT，可知預警系統使用者所處的實質與天然環境特性，人口、社會經濟、制度與社會網絡條件、災害歷史與災害經驗，會影響居民防護動機，及進一步影響其反應與調適行為[28,29,33]。地區環境與居民特性與災害風險管理機制，亦會相互影響。

前者會影響風險管理策略選擇，後者則會塑造地區災害環境與體系[12,29]。最後，可將THWSRF重要組成構面與因素彙整於表一。

二、多屬性效用理論

THWSRF為整合性評估架構，可相對完整考慮預警系統與使用者反應機制組成因素。整合性評估法廣泛應用於災害風險管理與相關政策評估[34]，然預警系統規劃的過程，不同組成因素的重要性與價值判斷，不但會影響系統設計，亦會影響使用者的反應、溝通及對預警機制設計的參與。

MAVT廣泛應用於多目標決策，其奠基在von Neumann-Morgenstern的效用理論[35]。透過多屬性價值函數建置，將決策者

表一 颱風災害預警與反應架構組成要素

目標	構面	因素	說明
降低災害傷亡與損害風險	風險資訊、溝通與預警措施	資訊發送頻率	透過不同資訊管道，立即及重複提供使用者災害相關訊息的程度
		預警內容與措施	關於災害特性(如颱風路徑圖、降雨預測等)、預警訊息、災害潛勢分布、疏散避難與反應措施等訊息提供，及此等資訊精確度
		資訊傳遞管道	指預警相關資訊提供之方式與管道，包含政府部門(如村里長)及不同媒體(平面、電子、網路)的宣傳管道
		預警使用語言	預警系統將災害資訊或警訊傳達給使用者使用的語言
反應與調適力評估		資訊信任程度	使用者對於預警系統提供之災害相關資訊或警訊內容與精確度的信任程度
		災害風險知覺	使用者對於災害發生可能性(機率)，及對生命危害、財產損失程度的主觀判斷
		調適反應有效性評估	使用者考慮採取相關災害回應與調適措施時，會評估執行成本與自己能力，及採取相關策略能否有效降低災害損害，方會決定是否採取相關策略
地區環境與居民特徵	實質與天然環境	實質與天然環境	使用者所在地區天然環境條件、災害潛勢及災害來臨時氣象與環境等變化(如暴雨、土石流等)
		人口與社會經濟條件	使用者所在地區平均與個體年齡、所得、性別分布、教育程度、弱勢人口等因素，此可能影響使用者對預警機制內容的瞭解與回應
		制度與社會網絡	地區災害防救運作體系，及政府、相關團體、組織或其他社區建立的資訊溝通、政策參與、資源取得等社會網絡
		災害歷史與經驗	地區居民與使用者過去經歷的災害衝擊與損失經驗(包含發生頻率與損失程度)

對不同因素價值判斷轉為數學函數[14,36]。特別是當政策或系統由若干屬性構成，可藉由效用極大化假設，預測決策者對預警系統構成要素價值，及整體政策目標的判斷[36,37]。

假設上述THWSRF追求整體政策目標價值為 u ，其由若干獨立屬性 x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 組成，故可將THWSRF總體多屬性價值函數(multiple-attribute value function; MVF)表示如下：

$$u(x_i) = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i \quad (1)$$

式(1)代表 u 為屬性 x_i 線性加總， ω_i 為 x_i 權重。式(1)隱含欲評估總效用，需估計決策者之個別屬性效用函數及各屬性權重。

三、價值函數與權重

一般多屬性效用，可藉由價值函數衡量。換言之，欲量測THWSRF總效用，需依其組成屬性分別建置價值函數。價值函數可透過決策者，對系統各項組成因素價值之偏好分別評定與建置。本研究引用最常用之中點分割法(mid-value splitting technique)，逐步建立價值函數[14]。價值函數具有不同曲線型態，其決定在決策者對各屬性之偏好特性。例如，受訪者對於屬性偏好為規模報酬固定，可引用線性模式；相對，如為規模報酬遞減或遞增，則可引用指數型。一般價值函數可表為：

$$v_i(x_i) = a + be^{cx} \quad (2)$$

式(2)之 $v_i(x_i)$ 為屬性 x_i 之單一屬性價值函數(single-attribute value function; SVF)， a 、 b 與 c 為估計參數。價值函數曲線型態，主要決定在參數 c 。當 $c > 0$ ，代表函數為規模報酬遞增；反之， $c < 0$ 則屬性值愈高，受訪者認為之規模報酬呈遞減； $c = 0$ ，則為規模報酬不變。

關於屬性相對重要性或權重之決定，本研究採用排序法。此方法決策者只需將不同屬性，依其重要性排序，即可估計權重。此方法較易操作，且依過去研究，其評估結果與其他權重評估法差異不大[38]。最後排

序結果，則應用ROC法(rank-order centroid method)計算不同屬性權重：

$$\omega_r = \frac{1}{m} \sum_{i=r}^m \frac{1}{i} \quad (3)$$

式(3) r 是屬性 i 排名， ω_r 是排名第 r 名的指標權重， m 是納入排名屬性個數。

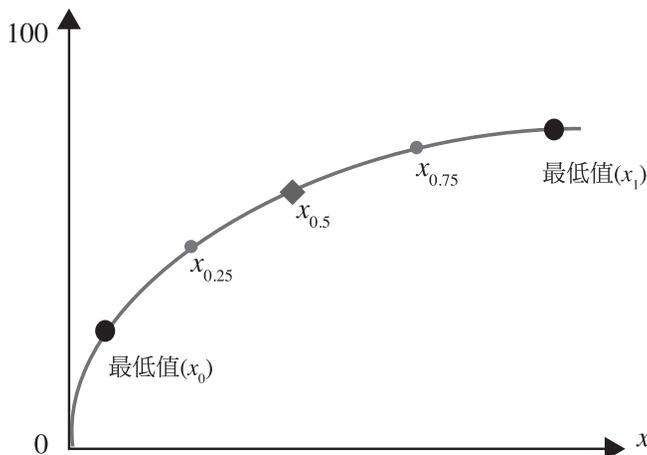
四、資料來源

為瞭解THWSRF整體價值體系，及其組成因素價值分布與相對重要性，乃透過政府官員與專家問卷訪談，蒐集價值判斷資料。在問卷設計過程，鑑於不同災害類型預警設施設計核心可能有異，故分別針對颱風災害可能引發：洪災與土石流(坡地)災害設計問卷。另為使受訪者瞭解洪災與土石流災害預警特性與程序，問卷乃引用文獻回顧及水利署洪災、水保局土石流災害預警系統，簡介預警系統設計背景，以助於受訪者瞭解預警系統內涵。

問卷設計目的，主要在於引出受訪者對THWSRF的總體價值，及預警系統各組成要素價值函數，以支援預警系統規劃與災害風險管理決策。故問卷設計，將THWSRF分為三層級。亦即，在達成降低災害傷亡與損失風險目標下，受訪者依預警系統設計目標，及價值函數建置所需，參考表一各組成要素定義，進行各組成要素評分、排序與方案選擇。

受訪者針對每項THWSRF組成因素，依上述價值函數建置程序，在問卷中分別回答每個組成要素，在0-100 (給分愈高，愈重要)尺度中，依其重要性回答可接受最高值(x_1)、最低值(x_0)；其次循中點分割法所需程序，依序回答最高值與最低值的中間值 $x_{0.5}$ ，及進一步回答 x_0 與 $x_{0.5}$ 及 $x_{0.5}$ 與 x_1 之中間值 $x_{0.25}$ 與 $x_{0.75}$ (參見圖二)。透過此程序，即可依序建置每項組成因素之SVF。

由於價值函數建置過程繁複，故在問卷調查前，先針對問卷整體架構進行試訪，再依試訪結果修正問卷用語與內容。關於受訪者決定，乃以洪災與土石流預警系統設計與



圖二 價值函數判定程序

執行之主要利害關係者：政府官員與專家，為問卷訪談對象。受訪者涵蓋之政府部門包含：水利署、河川局、水土保持局、水利署防災中心、營建署、災害防救辦公室、國家災害防救科技中心、地方政府執行單位等。受訪專家領域，則包含：水利工程、水土保持、災害管理、城鄉規劃等領域。問卷採取面對面訪談方式進行，訪談時間為2012年2月，成功受訪人數計81人。

災害預警與反應分析

一、預警系統功能

為瞭解受訪者如何判斷預警系統工作與功能的重要性，乃分別依土石流與洪災預警系統功能，讓受訪者依據理想之預警系統功能與組成要素重要性進行排序與判斷價值。另外為了檢驗不同背景受訪者，對於預警系統功能認知的差異，將受訪者分為政府官員(計61位)與專家(學者)(計20位)兩群，分別列示其偏好。

表二顯示，在土石流預警系統，受訪者排序第一的工作，不管是政府官員或專家，皆以災前整備與災害警戒所占的比例最高，兩者整體平均排名亦最前。此兩項工作的主要內容為災前相關整備工作；而較少受訪者排序第一的項目，則為疏散勸導與強

制避難。然整體而言，不管透過 χ^2 或無母數Mann-Whitney U檢定，在 $\alpha=0.05$ 顯著水準下，政府官員與專家對於預警系統扮演角色偏好無顯著差異。

在洪災預警系統的相關工作中，水利署為了將疏散勸告併入強制避難階段，而將預警系統運作劃分為三階段。受訪者排序第一較多項目，亦為災前整備與災害警戒。排序第一較少的工作項目，則同為強制避難。比較政府官員與專家，在 $\alpha=0.05$ 下， χ^2 與Mann-Whitney U檢定，亦皆顯示兩者的偏好無顯著差異。

問卷訪談過程中，在資訊提供、災害預測、支援應變與教育四項功能中，受訪者將資訊提供列為最重要的功能者最多，占40%(平均排名1.9)，其次為支援災害應變，占28%(平均排名2.1)，而教育功能最低，僅占11%(平均排名3.4)。另比較政府官員與專家對於預警系統功能偏好差異，在 $\alpha=0.05$ 之 χ^2 或Mann-Whitney U檢定，多數無顯著差異。只有專家較政府官員，更強調教育功能。上述整體調查結果，可呼應歐盟檢討現行洪災預警系統過於偏重資訊提供，而較忽視末端使用者應變與脆弱度之狀況[6]。

從上述問卷訪談結果，不管是土石流或洪災預警系統，受訪者如一般研究所稱[5,6]，較偏好「由上而下」、供給導向之功

表二 預警系統功能排序

預警工作	名次一(%)		名次二(%)		名次三(%)		名次四(%)		平均名次									
	政府		專家		政府		專家											
	土石流	洪災	土石流	洪災	土石流	洪災	土石流	洪災										
災前整備	53	56	58	42	10	20	5	32	18	24	16	26	19	—	21	—	2.0 (1.2) ^a	1.7 (0.8)
災害警戒	26	29	21	42	50	58	53	47	15	13	26	11	9	—	0	—	2.0 (0.8)	1.8 (0.6)
疏散勸導	8	—	5	—	23	—	32	—	44	—	47	—	25	—	16	—	2.8 (0.9)	—
強制避難	13	15	16	16	18	22	5	21	24	63	16	63	45	—	63	—	3.0 (1.1)	2.5 (0.7)

^a: 括弧中為標準差

表三 ROC法估計之颱風災害預警與反應架構組成因素相對重要性

構面	權重(1)	因素	權重(2)	整合權重(3) ^a
風險資訊、溝通與預警措施	0.369	資訊傳遞管道	0.372	0.138
		資訊發送頻率	0.149	0.054
		預警使用語言	0.175	0.064
		預警內容與措施	0.304	0.113
地區環境與居民特徵	0.334	實質與天然環境	0.381	0.128
		人口與社會經濟條件	0.168	0.056
		制度與社會網絡	0.132	0.044
		災害歷史與經驗	0.319	0.107
回應與調適力評估	0.297	資訊信任程度	0.343	0.102
		災害風險知覺	0.477	0.141
		調適反應有效性評估	0.180	0.053

^a: 整合權重(3)=構面權重(1)×因素權重(2)

能。內容包含：災害潛勢分析與預測、災害潛勢地圖製作，及提供災害早期預警、整備、界定高災害風險地區、劃設警戒區等傳統工作。對於偏向執行面及「由下而上」的疏散、避難、災害應變等相關面向，則給予較低優先順序。

二、預警系統組成要素重要性與價值函數

應用ROC法，可比較受訪者對THWSRF組成因素權重或相對重要性判斷。表三顯示受訪者認為預警系統設計，在組成構面上，仍以風險資訊與預警措施提供，及配合地方實質環境與居民社經條件為重；而居民對於預警訊息的反應與調適評估行為，則為較次要因素。

在組成因素中，透過受訪者對構面中各因素之排序，及各構面給予之權重，可將各因素整合權重，示於表三最右欄。從估計結果可發現，受訪者認為較重要因素，依序為：居民災害風險知覺、資訊傳遞管道、地區實質環境、預警訊息內容與措施；較次要之因素則較偏向末端使用者特性：制度與社會網絡、居民對於調適反應有效性評估、資訊發送頻率、使用語言及人口與社會經濟條件。

產生上述現象原因，在問卷訪談過程受訪者曾透露，為提升預警系統規劃效率、法令規範及因使用者資料蒐集困難，致使系統建置過程難完整考慮使用者特性(或脆弱度)。然許多研究顯示，影響預警系統使用

者是否採取適當調適行為的因素，並非只有由上而下之資訊提供與預警設施，其他地區環境、居民社會經濟特性、調適力與社會網絡等由下而上特性，亦是關鍵要素[24,26,32]。故過度強調供給面，可能帶來決策困境與挑戰。尤其許多國家檢討預警系統支援災害風險管理決策，多發現居民普遍存在科學資料解讀困難。導致規劃者常是在不瞭解預警系統使用者特性情況下建置系統，而導致系統設計面對高度不確定性[39]。

透過權重分析，只能瞭解組成因素相對重要性，然無法得知決策者對個別因素的價值判斷(通常是非貨幣價值)，及如何整合這些價值進行整體預警系統決策判斷。而藉由SVF與MVF估計，有助於瞭解此部分之決策過程。從表四THWSRF組成因素的SVF估計，可發現受訪者對多數組成因素價值判斷，認為其在預警系統扮演的角色，多為規

模報酬遞減。然其中「預警內容與措施」、「人口與社會經濟條件」與「災害風險知覺」，則在 $x_{0.5}$ 與 x_1 間，具有邊際效用遞增現象。隱含受訪者認為此三項因素，在愈接近受訪者高效用值時，會更強調其在預警系統設計的重要性。另「資訊發送頻率」、「預警使用語言」與「災害歷史與經驗」，在接近高效用值時，則具有線性效用遞增特性。

三、方案選擇與影響因素

透過受訪者對不同THWSRF組合方案選擇，可瞭解其對預警系統整體方案偏好，及對組合因素的取捨。以下將THWSRF組成因素隨機組合為不同系統方案，由受訪者選擇偏好之預警系統組合。然為簡化方案內涵，難將THWSRF所有組成因素皆納入考慮，而是依上述權重分析結果，挑選較重要及較易設計方案之因素，組成不同型態方

表四 預警系統組成因素價值函數

指標	範圍		中點		SVF方程式
	最小值	數值	效用		
資訊傳遞管道	78.8	83.4	0.75	$v(x)=4.71-12.01e^{-0.0133x}$	
	69.3	73.3	0.25	$v(x)=1.06-114.3e^{-0.06761x}$	
資訊發送頻率	72.4	76.9	0.75	$v(x)=-3.52+0.06x$	
	63.5	67.6	0.25	$v(x)=1.85-17.58e^{-0.0355x}$	
預警使用語言	72.8	77.1	0.75	$v(x)=-3.73+0.06x$	
	63.7	67.6	0.25	$v(x)=1.14-65.62e^{-0.06367x}$	
預警內容與措施	77.5	82.8	0.75	$v(x)=-0.02-0.002e^{0.0738x}$	
	68.3	72.5	0.25	$v(x)=1.70-22.71e^{-0.038x}$	
實質與天然環境	78.5	82.9	0.75	$v(x)=3.08-15.91e^{-0.02317x}$	
	69.0	73.5	0.25	$v(x)=1.92-18.17e^{-0.0325x}$	
人口與社會經濟條件	73.3	78.4	0.75	$v(x)=0.01-0.001e^{0.0809x}$	
	64.1	67.8	0.25	$v(x)=0.91-244.2e^{-0.08732x}$	
制度與社會網絡	72.4	75.5	0.75	$v(x)=1.19-0.0003e^{-0.1455x}$	
	63.2	68.1	0.25	$v(x)=-1.67-0.28e^{-0.02844x}$	
災害歷史與經驗	78.2	82.7	0.75	$v(x)=-3.84-0.06x$	
	69.3	73.1	0.25	$v(x)=1.12-113e^{-0.0666x}$	
資訊信任程度	77.2	81.5	0.75	$v(x)=2.42-23.56e^{-0.0325x}$	
	67.8	71.8	0.25	$v(x)=1.1-86.39e^{-0.06433x}$	
災害風險知覺	79.5	85.0	0.75	$v(x)=0.17-0.0001e^{0.1022x}$	
	70.4	74.3	0.25	$v(x)=1.14-100.5e^{-0.06367x}$	
調適行為有效性評估	74.4	78.5	0.75	$v(x)=3.44-14.74e^{-0.02166x}$	
	65.0	69.2	0.25	$v(x)=1.43-27.81e^{-0.04561x}$	

案，所有因素可能組合計有384種方案。表五顯示預警系統方案設計考慮之因素，及方案選擇相關統計分析。

土石流與洪災預警系統設計考慮的核心要素可能不同，故問卷中，分別給予高土石流與洪災潛勢兩個社區情境；再個別設計兩組隨機組合之預警系統與情境方案。應用程式(1)與(2)之MVF，可預測受訪者理性決策的偏好方案。比較受訪者實際選擇與MVF預測之偏好方案，可發現在土石流預警系統組合中，MVF正確預測率約65%；於洪災系統則約為60% (表五)。藉由無母數Wilcoxon signed ranks檢定，發現不論在土石流或洪災系統，MVF預測與實際選擇方案皆無顯著差異。透過Spearman's rho之相關性檢定，兩者相關性呈統計顯著，然相關性不高。

應用MVF預測方案選擇的準確性，雖具有統計意義，但不非常顯著。其原因可應用Logit迴歸分析，瞭解影響受訪者預警系統方案選擇的關鍵要素。土石流與洪災系統方案選擇的Logit迴歸模型配適結果，透過Hosmer-Lemeshow檢定皆不顯著，顯示兩個模型估計，可應用於解釋影響方案選擇之因素。

透過Logit分析，發現受訪者在兩種預

警系統組合中，仍最重視預警資訊提供之內涵(頻率、語言等)。對於影響預警反應與使用者特性較關鍵的社會經濟、經驗、風險知覺、調適評估等因素，則在不同預警系統中顯示不同層面的忽略。在方案選擇過程，因為決策者需同時綜合考慮多項因素，及在多項因素間取捨，決策者通常會以其較注重的因素，選擇偏好方案。但MVF是直接以決策者對個別因素偏好的線性加權總和，以較接近理性判斷，預測決策者可能選擇的方案。此決策程序的差異，可能造成實際方案的選擇，不必然等於個別因素的權重判斷與加總，亦不必然符合權重分析結果，因此造成MVF預測與實際決策選擇落差。

五、政策應用討論

預警系統建置所面臨的最大挑戰，除了來自災害預測的科技不確定外，尚源於對社會、文化、體制與使用者特性的不瞭解[9,32,39]。特別是使用者常將預警系統或災害資訊的產生，視為「黑箱作業」，既難瞭解其內容，亦欠缺明確參與管道及溝通機制。

聯合國與國際衛生組織為降低災害傷

表五 方案選擇與Logit迴歸分析

Logit迴歸變數	方案組合	土石流	洪災
常數	—	-9.81	-8.16*
資訊傳遞管道	1=多種；0=單一	-0.10	2.07***
資訊發送頻率	1=高；0=低	1.75**	1.22**
預警使用語言	1=多種；0=單一	1.36**	0.99*
年所得收入	29萬；77萬；179萬 ^a	0.01	0.01
老年人口比例	10.7%；14%	0.55**	0.24
災害歷史與經驗	1=高；0=低	0.67	1.04
災害風險知覺	1=高；0=低	0.53	1.63***
調適行為有效性評估	1=高；0=低	0.04	1.12*
Hosmer-Lemeshow test (χ^2)	—	9.59	2.86
價值函數預測與實際方案選擇			
Wilcoxon signed ranks test	—	0.90	0.98
Spearman's rho	—	0.24***	0.20***

^a:將2011年底全台戶所得由低至高分5等級，分別以第1, 3, 5等級設計方案；

^b:10.7%為2011年台灣65歲以上人口平均值，14%為WHO高齡化社會門檻；

*: p<0.1; **: p<0.05; ***: p<0.01

亡與促進公共安全，近年極力推動居民導向的整合性預警系統。此類型系統強調全災型(all-hazards)及鼓勵參與、即時及合宜調適反應，以使公共安全與衛生決策能更具彈性及符合地區特性[5,40]。欲建置整合性預警系統，有效彙整政府與不同組織的價值偏好與科學資訊，及納入使用者脆弱度與調適力特質，乃重要基礎工作。亦即，需將預警系統視為災害風險管理策略的一環，除強化災害監測與資訊整合外，如何建置有效的資訊溝通管道與參與平台，瞭解土地使用特性與使用者調適反應障礙，及有效納入災害風險管理機制，是決定預警系統能否成功運作的關鍵。

從上述政府與專家問卷訪談，可發現受訪者多將預警系統的設計，聚焦在災害資訊的產生(科學分析、災害地圖製作等)與宣導，希望提升居民風險知覺與調適力。從災害風險管理觀點，災害潛勢與衝擊資訊固然重要，但其充滿不確定性。此課題的處理難完全依賴科技，而需透過更有效掌握末端使用者特性，及藉由雙向溝通，讓使用者瞭解災害資訊伴隨的不確定性，及促使居民採取合宜調適反應。唯有同時掌握災害潛勢及預警設施供給面與需求面特性，方能將預警系統納入風險管理，更有效提出相關公共安全管理策略(例如，疏散避難、群眾管理、土地使用治理、災後重建與回復)。

結 論

本文探討預警系統規劃的主要利害相關者，對預警系統的價值判斷，有助於瞭解預警系統運作面臨的課題，及提升其運作效能。研究發現政府官員與專家對各項預警系統設計考慮的要素，皆顯著偏重在容易標準化及「由上而下」的設計要素。故如何有效納入居民的回應與調適力行為因素，及強化預警系統決策過程之利害相關者參與，將是未來相關政策擬定之重大挑戰。

預警系統忽略末端使用者的反應與調適行為的主要原因，除了使用者行為資訊不容易掌握外；為提升預警系統設計效率、降低

成本、提供民眾易於配合之標準化程序與法規限制，而難針對不同災害環境、社會經濟條件與使用者特性，提供不同預警系統。然而，整合性及居民導向之預警系統的建置，亟需探討使用者對預警系統資訊的取得、瞭解、信任，及相關反應與調適行為，以協助改善預警系統的設計與相關調適規劃的內涵。另外，新科技的引入(如行動裝置)，亦有助於提升資訊提供的效能與彈性化。此等相關研究，皆非常需要後續投入更多關注，以提升預警系統的公共安全管理效能。

致 謝

本研究為科技部補助專題研究計畫(編號：99-2621-M-305-002-MY2)部分研究成果，對其經費補助，特申謝悃。

參考文獻

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to AR5. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
2. Leonard GS, Johnston DM, Paton D, Christianson A, Becker J, Keys H. Developing effective warning systems: ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand. *J Volcanol Geoth Res* 2008;**172**:199-215. doi:10.1016/j.jvolgeores.2007.12.008.
3. Hung HC, Chen LY. Incorporating stakeholders' knowledge into assessing vulnerability to climatic hazards: application to the river basin management in Taiwan. *Climatic Change* 2013;**120**:491-507. doi:10.1007/s10584-013-0819-z.
4. Sorensen JH. Hazard warning systems: review of 20 years of progress. *Nat Hazards Rev* 2000;**1**:119-25. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2000)1:2(119).
5. Samarasundera E, Hansell A, Leibovici D, Horwell CJ, Anand S, Oppenheimer C. Geological hazards: From early warning systems to public health toolkits. *Health Place* 2014;**30**:116-9. doi:10.1016/j.healthplace.2014.09.001.
6. Borga M, Anagnostou EN, Blöschl G, Creutin JD. Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environ Sci Pol* 2011;**14**:834-44. doi:10.1016/j.envsci.2011.05.017.
7. 行政院農業委員會水土保持局：土石流災害預報與

- 警報作業手冊。台北：行政院農業委員會水土保持局，2011。
- Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan). Handbook for Debris-Flow Disaster Preparedness and Warning. Taipei: Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2011. [In Chinese]
8. 經濟部水利署：建立洪水預警系統暨水利設施災害防救體系整合計畫。台北：經濟部水利署，2001。Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, R.O.C. (Taiwan). The Integrated Plan of Building Disaster Prevention System for Flood Warning with Irrigation Facilities. Taipei: Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, R.O.C. (Taiwan), 2001. [In Chinese: English abstract]
 9. Mileti DS, Sorensen JH. Communication of Emergency Public Warnings: A Social Science Perspective and State-of-the Art Assessment. Oak Ridge, TN: Oakridge National Laboratory, 1990.
 10. WMO (World Meteorological Organization). Strengthening of Risk Assessment and Multi-hazard Early Warning Systems for Meteorological, Hydrological and Climate Hazards in the Caribbean. Geneva, Switzerland: WMO, 2011.
 11. ISDR (International Strategy for Disaster Reduction). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations to Disasters. Geneva, Switzerland: ISDR, 2005.
 12. Basher R. Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. *Phil Trans R Soc A* 2006;**364**:2167-82. doi:10.1098/rsta.2006.1819.
 13. Priest SJ, Parker DJ, Tapsell SM. Modelling the potential damage-reducing benefits of flood warnings using European cases. *Environ Hazards* 2011;**10**:101-20. doi:10.1080/17477891.2011.579335.
 14. Beinart E. Value Functions for Environmental Management. Dordrecht: Kluwer, 1997.
 15. ISDR. Terminology: Basic Terms of Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: ISDR, 2004.
 16. Taubenböck H, Goseberg N, Setiadi N, et al. "Last-Mile" preparation for a potential disaster – interdisciplinary approach towards tsunami early warning and an evacuation information system for the coastal city of Padang, Indonesia. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 2009;**9**:1509-28. doi:10.5194/nhess-9-1509-2009.
 17. Bierbaum R, Smith JB, Lee A, et al. A comprehensive review of climate adaptation in the United States: more than before, but less than needed. *Mitig Adapt Strateg Globa Change* 2013;**18**:361-406. doi:10.1007/s11027-012-9423-1.
 18. Olsthoorn AA, Tol RSJ. Floods, Flood Management and Climate Change in the Netherlands. Amsterdam: Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, 2001.
 19. Dash N, Gladwin H. Evacuation decision making and behavioral responses: individual and household. *Nat Hazards Rev* 2007;**8**:69-77. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:3(69).
 20. McCarthy SS. Contextual influences on national level flood risk communication. *Environ Hazards* 2007;**7**:128-40. doi:10.1016/j.envhaz.2007.06.002.
 21. Molinari D, Handmer J. A behavioural model for quantifying flood warning effectiveness. *J Flood Risk Manag* 2011;**4**:23-32. doi:10.1111/j.1753-318X.2010.01086.x.
 22. Raschky PA. Institutions and the losses from natural disasters. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 2008;**8**:627-34. doi:10.5194/nhess-8-627-2008.
 23. EEA (European Environment Agency). Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation. Copenhagen, Denmark: EEA, 2013.
 24. Huang SK, Lindell MK, Prater CS, Wu HC, Siebeneck LK. Household evacuation decision making in response to Hurricane Ike. *Nat Hazards Rev* 2012;**13**:283-96. doi:10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000074.
 25. Rogers RW. Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: a revised theory of protection motivation. In: Cacioppo BL, Petty LL eds. *Social Psychophysiology: A Sourcebook*. London: Guilford, 1983; 153-76.
 26. Grothmann T, Patt A. Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change. *Global Environ Change* 2005;**15**:199-213. doi:10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002.
 27. Riad JK, Norris FH, Ruback RB. Predicting evacuation in two major disasters: risk perception, social influence, and access to resources. *J Appl Soc Psychol* 2006;**29**:918-34. doi:10.1111/j.1559-1816.1999.tb00132.x.
 28. Lindell MK, Perry RW. The protective action decision model: theoretical modifications and additional evidence. *Risk Anal* 2012;**32**:616-32. doi:10.1111/j.1539-6924.2011.01647.x.
 29. Lindell MK, Lu JC, Prater CS. Household decision making and evacuation in response to Hurricane Lili. *Nat Hazards Rev* 2005;**6**:171-9. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:4(171).

30. Hung HC. The attitude towards flood insurance purchase when respondents' preferences are uncertain: a fuzzy approach. *J Risk Res* 2009;**12**:239-58. doi:10.1080/13669870802497702.
31. Hung HC, Wang TW. Determinants and mapping of collective perceptions of technological risk: the case of the second nuclear power plant in Taiwan. *Risk Anal* 2011;**31**:668-83. doi:10.1111/j.1539-6924.2010.01539.x
32. 洪鴻智、盧禹廷：沿海居民的氣候變遷與颱風災害調適。都市與計劃 2014；**42**：81-102。
Hung HC, Lu YT. Adaptation to climate change and typhoon-flood hazards in the coastal area. *City Plann* 2014;**42**:81-102. [In Chinese: English abstract]
33. Sharma U, Patwardhan A, Parthasarathy D. Assessing adaptive capacity to tropical cyclones in the East coast of India: a pilot study of public response to cyclone warning information. *Climatic Change* 2009;**94**:189-209. doi:10.1007/s10584-009-9552-z.
34. 洪鴻智、陳令韡：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 2012；(65)：79-96。
Hung HC, Chen LY. An integrated assessment of vulnerability to typhoon and flood hazard in the Ta-Chia River Basin. *J Geogr Sci* 2012;(65):75-96. [In Chinese: English abstract]
35. Ananda J, Herath G. Incorporating stakeholder values into regional forest planning: a value function approach. *Ecol Econ* 2003;**45**:75-90. doi:10.1016/S0921-8009(03)00004-1.
36. Geneletti D. Formalising expert opinion through multi-attribute value functions: an application in landscape ecology. *J Environ Manage* 2005;**76**:255-62. doi:10.1016/j.jenvman.2005.01.025.
37. Ananda J, Herath G. Evaluating public risk preferences in forest land-use choices using multi-attribute utility theory. *Ecol Econ* 2003;**55**:408-19. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.12.015.
38. 洪鴻智、王翔榆：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 2010；**37**：97-119。
Hung HC, Wang HY. Multiple regional environmental risk assessment: a case study of the Yangmingshan National Park. *City Plann* 2010;**37**:97-119. [In Chinese: English abstract]
39. Fearnley CJ. Assigning a volcano alert level: negotiating uncertainty, risk, and complexity in decision-making processes. *Environ Plan A* 2013;**45**:1891-911. doi:10.1068/a4542.
40. United Nations. Global Survey of Early Warning System: An Assessment of Capacities, Gaps and Opportunities towards Building A Comprehensive Global Early Warning System for All Natural Hazards. New York: United Nations, 2006.

Evaluating stakeholders' preferences in typhoon-flood hazard warning system planning using multiple-attribute value theory

HUNG-CHIH HUNG*, JIA-YU LIN

Many countries are developing hazard warning systems to confront the impact of climate change and other extreme events in order to reduce the risk of disasters and casualties, as well to enhance public health and security. As part of policymaking, a warning system also needs to more effectively minimize conflicts while communicating the risk of disaster to policy-making by inviting the participation of various stakeholders and incorporating their values into the process of system planning. The aim of this study was to explore the value preferences of stakeholders with regard to the components of typhoon-flood hazard warning systems. This study used multi-attribute utility theory to model stakeholder values for typhoon-flood hazard warning system choices. We interviewed officers and experts to determine weight and value preferences for the components of a warning system, and these were compared using value function and multivariate approaches. The differences in most value preferences between officers and experts were insignificant. They assigned higher weights to the provision of information and emergency preparedness functions in building warning systems. This implied that the warning system plan tended to be conceived largely as a 'top-down' and standardized process, with relatively little engagement of the end-users in terms of their characteristics, responses and adaptive capabilities. The uncertainties of the impact of hazards require that warning systems function not only on a sound technical basis, but also effectively consider the vulnerability, adaptive capacity and participation of the people exposed to risk. A people-centered warning system should be built to empower communities to prepare for, respond to and adapt to disaster risks. These findings could improve the process of planning warning systems to maximize public security and risk management. (*Taiwan J Public Health*. 2015;**34**(4):349-361)

Key Words: *warning system, hazard risk communication, public security, multi-attribute utility, adaptation*

Department of Real Estate & Built Environment, National Taipei University, No. 151, University Rd., San Shia Dist., New Taipei City, Taiwan, R.O.C.

* Correspondence author. E-mail: hung@mail.ntpu.edu.tw

Received: Oct 22, 2014 Accepted: May 14, 2015

DOI:10.6288/TJPH201534103111