

雷達降雨估計資料應用坡地災害警戒模型

林聖琪¹ 王安翔² 柯明淳² 張智昌²

國家災害防救科技中心

摘要

國家災害防救科技中心坡地災害防治組自支援中央災害應變中心進行災害潛勢提報開始，致力於坡地災害警戒方法與時機研究。過去在坡地災害預警研判參考資訊，採取地面觀測降雨值是否達到或超過雨量門檻值，而坡地災害門檻值設定是以歷史坡地災害之雨量訂定。然而，台灣年平均降雨量約2,500mm，受地形自然環境因素影響，在降雨空間與時間分布不均勻；以過去文獻統計表示，坡地災害或土石流災害警戒門檻研究將受限於地面觀測雨量站設置密度影響，尤其山區雨量站密度不及平地雨量站。因此，本研究乃利用雷達降雨估計資料提升山區降雨觀測空間密度，以1.25km*1.25km空間解析降雨觀測資料應用於坡地災害警戒模型，以單一網格單元進行坡地災害警戒，除可精進颱風災害應變作業，在視覺化警戒資訊提供有助於情資分析研判決策者快速提出颱風災害應變作為。

關鍵字：雷達降雨估計資料、坡地災害降雨門檻值、坡地災害警戒模型

一、前言

坡地災害的發生機制探討，國內外研究已有多數，大致可歸納為邊坡自身的穩定性以及外在觸發因子探討，且近幾年因風險觀念納入坡地災害管理，轉為探討坡地災害發生之潛勢、坡地災害發生之機率、坡地災害影響範圍、坡地災害社會經濟損失等等研究。然而，在坡地災害防治四階段當中，在減災與整備階段作為確實是可降低災害被害程度，但仍須有賴於應變時之操作作為。因此，如何利用坡地災害減災對策，由坡地災害發生機制，擬定應變對策作為。

從過去文獻當中，坡地災害防治研究從傳統邊坡穩定分析探討單一邊坡穩定性，進而室內試驗與歷史災害統計探討邊坡破壞各種機制研究。邊坡不穩定或坡地災害發生不僅與各地地文條件有關，同時與水文條件亦有密切之關係。目前在坡地災害的警戒應變操作上，通常依據重要的誘發因子進行監測及分析，包括雨量、地下水、地聲、光纖、無線感測網路、全球衛星定位、影像、鋼索檢知器及消能網、傾斜儀、伸縮儀及不同類型監測方式的整合技術等，前述這些坡地災害監測技術大致可歸類為事前預測及事發偵測兩種，事前預測係利用與災害發生有密切相關條件進行監測(例如降雨量監測)，而事發偵測則係依據不同坡地災害的特性(位移量、衝擊力、加速度、角速度、

流速等)，達到觸發警報目的，例如利用傾斜儀、伸縮儀、鋼索檢知器、感應塊、地聲、影像視覺判識等儀器等等。

由於台灣特殊的地理條件及氣候因素，檢視台灣歷年發生坡地災害的發生原因，大多是颱風豪雨所帶來充沛的降雨量導致災害的發生，因而不管美國 USGS、日本土砂對策、國內國科會與水保局等對於坡地災害預警的研究，無論採用何種統計分析模式，皆為發展雨量預警模式。然而，目前國內以水保局對於災害應變技術較為成熟，但因水保局業務主管範圍僅針對溪流的單一災害監控，對於全面性坡地災害研判是缺乏的。另外，監測雨量仰賴於雨量站密度與資料完整性，台灣由於地形複雜，山區雨量站不僅設置困難之外，維護更為不易。若依賴山區少數雨量站之雨量監測，易受地形與環境影響觀測雨量之連續性，因而坡地災害雨量門檻設定須考量此限制而偏向保守，降低坡地災害警戒發布精確度。有鑑於此，本文係利用雷達雨量估計降雨技術之成果，應用於全台坡地災害警戒整合模型內，以2009年莫拉克颱風影響甚鉅之高屏溪流域為示範區，說明資訊應用之過程。

二、研究區域

根據中央災害應變中心莫拉克颱風應變

處置報最後一報(第 74 報),莫拉克颱風共造成 693 人死亡(含未確認身分的肢體),76 人失蹤,死傷人數為近 10 年之最。從內政部統計年報顯示上一次颱風同樣受災慘重事件為 2001 年桃芝颱風,共計 214 人死亡或失蹤。莫拉克颱風造成死亡人數較多的縣市依序為:高雄縣、屏東縣、台南縣、嘉義縣、及南投縣,其中高雄縣是莫拉克颱風造成大規模崩塌與土石流發生,造成甲仙鄉小林村死亡與失蹤人數最多,共 415 死 32 失蹤,其次是六龜鄉新開與新發部落共 36 人死 2 人失蹤,那瑪夏鄉則有 29 人死 2 人失蹤。因此本文以高屏溪流域為研究區域,一方面由災害警戒發布的時序瞭解降雨趨勢分布,一方面作為未來視覺化坡地災害警戒自動化模式建立。

三、坡地災害整合警戒研判模型

坡地災害整合警戒模型是整合地文災害發生敏感度與坡地災害雨量警戒門檻值兩系統,地文災害發生高敏感度地區不需太高雨量則會造成坡地災害,反之亦然。雖然地文條件與降雨對於坡地災害皆有直接關係,但兩者條件貢獻程度量化,目前國內外尚未有明確的結果,多以地文條件做為修正因子,例如高敏感地區其門檻值折減係數較高(以負一個標準差),低敏感地區則考慮的折減係數可以致災門檻值或者 70%作為發布警戒值參考指標。

3.1 坡地災害警戒參考指標

在坡地災害與雨量門檻研究中,分別以最小降雨量、臨前降雨情況、降雨強度、累積雨量或有效降雨量等降雨特性作為門檻值,然而臨前降雨量或者最小降雨量、降雨強度與有效累積雨量須藉由確實災害發生時間,明確界定災害發生受雨量多寡之影響。許多研究當中,以颱風降雨強度與累積雨量做為相關性之研究且說明其相關性極高,其與降雨統計特性有關,尤其颱風降雨為集中時間之降雨,在不同颱風事件之累積雨量與降雨強度之相關性,整場颱風高累積雨量之事件往往會出現較高之最大時雨量或者三小時累積雨量,因此相關性研究當然會出現較高之相關性;但許多文獻卻把此相關性直接作為雨量與坡地災害發生相

關性,因此直接訂定最大時雨量之門檻值會有低估災害發生。

有鑑於災害時間發生不確定性與考量颱風降雨特性,國家災害防救科技中心(2005,2006,2007,2008)首先利用 1989~2005 年颱風經過東經 118 度至 126 度,北緯 19 度至 27 度之分析範圍內之累積雨量作為颱風所貢獻之整場累積雨量,全台各雨量站之累積降雨量以 ESRI 提供空間分析 IDW 內插方法求取全台之颱風累積降雨分布,再分別颱風事件所造成之坡地災害點位,分別擷取其位置於此次颱風之累積降雨量後,統計各縣市坡地災害降雨門檻值。

根據 2005 年縣市坡地災害雨量警戒門檻值訂定是以統計歷史坡地災害雨量之平均值作為警戒發布值,例如高雄縣 2006 年以前坡地災害案例不多,以平均值 500mm 作為警戒雨量值;而在易受颱風影響之縣市(如南投縣)則以負一個標準差作為坡地災害降雨門檻值。以 2007 年與 2008 年颱風事件所造成坡地災害案例進行驗證,災害發生約有八成在門檻值以上發生,兩成災害發生於門檻值以下,主要因 2008 年卡玫基、鳳凰、辛樂克及薔蜜颱風四次颱風事件,因颱風時間接近,明顯可看出災害發生受前一次事件影響極大,邊坡土體呈現飽和狀態,降雨量無須達到門檻值則會發生坡地災害;因此,2009 年莫拉克颱風重創南部山區,應從過去 500mm 下降至 250mm(負一個標準差)或者應為更低較佳。

3.2 雷達-雨量站降雨整合方法

在雨量警戒研究結果過去利用雨量站觀測經數值內插方法求取某未知點位雨量估計值,此取決於降雨資料的平滑度與雨量站密度,當降雨在空間上有不均勻分佈的情形發生時,會造成較大的估計誤差。因此,利用中央氣象局已於 2001 年完成台灣全島雷達網的建立,能提供局部地區之降雨強度、移動性與劇烈降雨系統,除了提供時間 10mins 解析度之外,空間解析度提高為 1.25km*1.25km。然而,王安翔(2009)對於雷達估計降雨在山區的估計結果進行分析,結果顯示雷達估計降雨之估計誤差隨測站海拔高度增加而增大。林李耀等(2006、2007、2008)之研究顯示,透過雷達降雨估計值和地面觀測降雨值之差值較其他空間估計數值方法為佳,圖 1 即為 Chen et al. (2007)所使用之雷達-雨量站降雨整合法的概念示意圖,其中 scale 1(圖 1a)表地面雨

量觀測，假設其為真實降雨值，但其解析度大約 10km，在山區或偏遠地區更差(約 20 km)。scale2 (圖 1b) 表雷達估計降雨，其特色為雨量估計為間接求取，但空間分佈較密，解析度較高(大約 1.3 km)，我們假設其為空間之內插權重值。根據圖 3 的概念模式，如圖 1c 所示，將逐步求出雷達-雨量站整合雨量 $R_i(x, y)$ ，其中 x, y 為 QPESUMS 的網格矩陣， x 共有 441 點， y 共 561 點，東西方向範圍(x)為東經 118 到 123.5 度，南北方向範圍(y)為北緯 20 到 27 度。雷達-雨量站降雨整合 $R_i(x,y)$ 之求取方法：

令雷達估計雨量為 $R_r(x,y)$ ，地面雨量站觀測所得雨量為 $R_g(k)$ ，其中 k 為地面站代號，其數量依據選取範圍有所不同。

1. 將 $R_r(x,y)$ 內插至 $R_g(k)$ 之經緯座標上，得到 $R_r(k)$ ；
2. 求取雨量站上 $R_r(k)$ 與 $R_g(k)$ 之差值為 $\Delta R(k)$ ，而 $\Delta R(k)=R_r(k)-R_g(k)$ ；
3. 應用數值內插方法將 $\Delta R(k)$ 內插回雷達估計網格 x,y 上得到 $\Delta R(x,y)$ ；
4. 求得雷達-雨量站降雨整合估計雨量 $R_i(x,y)$ ，而 $R_i(x,y)=R_r(x,y)+\Delta R(x,y)$ 。

因此，本研究坡地災害警戒模型之雨量來源，除傳統雨量站內插分析雨量分布之外，係利用雷達-雨量站整合方式之降雨量，判定是否超過災害雨量門檻值。

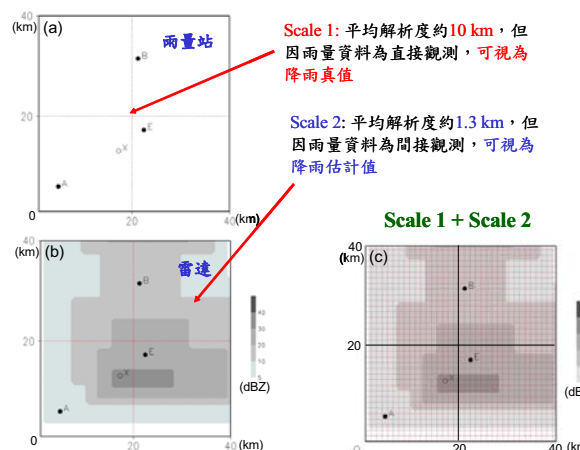


圖 1 雷達-雨量站降雨整合技術之概念示意圖

3.3 坡地災害整合警戒研判模型

國家災害防救科技中心所研發之坡地災害整合警戒研判自動化模型(2009)，有別於國內外過去各種警戒模型，係以空間警戒資訊突破傳統之坡地災害潛勢研判，如圖 2 所示。以上述 QPESUMS 空間降雨估計 $1.25km*1.25km$ 解析度網格，整合全省四百多個地面觀測降雨資訊，以空間統計分析估算全台雨量分布結果，且每一個網格資料皆每 10 分鐘將有一筆降雨資訊進行分析研判。在災害雨量警戒門檻值設定上，除了上述統計平均值及負一個標準差為警戒發布基準之外，由於空間資訊可納入各部會署的資料，可改變過去各部會各自為陣的研判不易整合。因此，坡地災害整合警戒研判自動化模型，可將中央氣象局雨量站地面觀測值與 QPESUMS 空間推估雨量、水土保持局土石流警戒觀測、公路總局道路通阻監測及中央地質調查所環境地質敏感圖與岩體工程性質，帶入坡地災害防治組的崩塌災害之水文與地文參考指標模組，除了每 10 分鐘的監測雨量、每個網格自動分析研判是否超過警戒參考指標之外，並可將各部會如地調所、水保局、公路總局各項監測資訊，通阻事件一併顯示於空間模型上，自動化研判可能之災害發生區位，並未來可能之受衝擊之山區部落，以利於未來中央災害應變中心指揮官作為相關之決策參考。

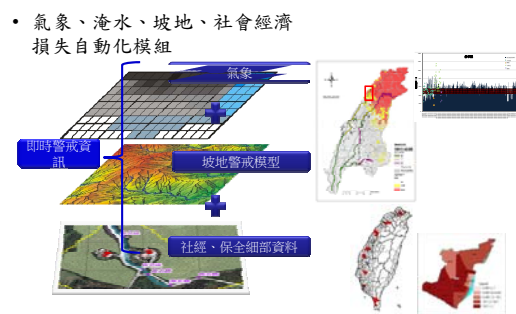


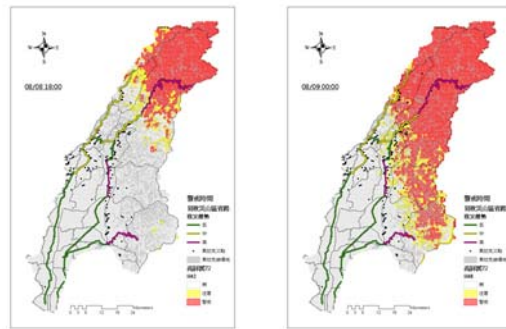
圖 2 坡地災害整合警戒研判自動化模型

四、示範區展示結果

利用雷達-雨量站整合降雨估計方法於 2009 年莫拉克颱風於高屏流域之逐時累積雨量，在空間與時間上表現，以 2008 年建立高雄縣之降雨警戒門檻值為 500mm，在空間上以紅色作為訊號；另外以 70%門檻值為 350mm 作為提醒警訊，為空間上以黃色作為訊號。由 2009 年 8 月 7 日至 8 月 9 日 23 時之雨量分析結果，藉由自動警戒模型分析結果，如圖 3 所示，從 8 月 7 日 18 時開始高屏溪上

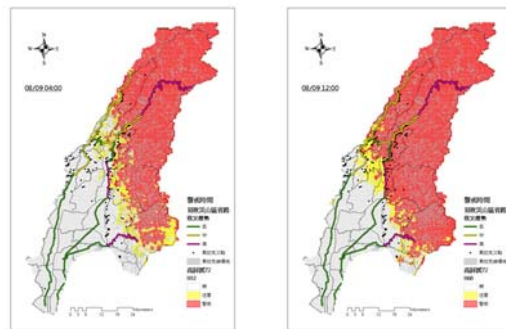
游已開始出現黃色警戒訊息，並有部分網格已達到紅色警戒；8月8日6時上游已多處出現紅色警戒訊息，更在8月8日18時至8月9日零時山區已全部出現紅色警訊。根據災情傳遞系統顯示，災害發生時間集中於8月8日晚上至8月9日白天之間，此與災害警戒發布時效性相當符合。

另外，自動警戒研判系統在小林村於8月8日12時已出現黃色警戒訊息，18時已轉為紅色警戒訊息；根據小林村災情描述，8日15時30分許，高雄縣甲仙鄉小林聚落旁小竹溪暴漲，水勢竄出公路護欄。村民駕怪手試圖清出水路，但黃濁泥流勢不可擋。9日5點小林村東北側獻肚山崩塌並造成楠梓仙溪河道堵塞形成堰塞湖；6點09分潰堤。高屏溪流域示範區警戒訊息出現與災害發生與分布位置套疊結果相當符合，自動化警戒系統不僅有別於仰賴雨量站之傳統縣市或鄉鎮警戒資訊發布的方式，更能以QPESUMS雷達-雨量整合方法，提升空間網格警訊發布上更為精確反應山區降雨區位與警戒資訊關係。



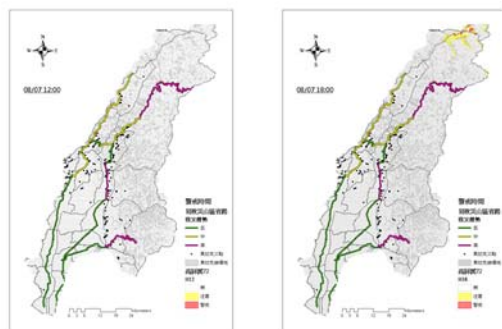
(e) 8日18時

(f) 9日00時



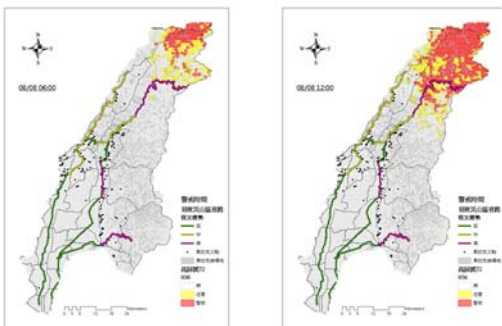
(g) 9日06時

(a) 9日12時



(a) 7日12時

(b) 7日18時



(c) 8日06時

(d) 8日12時

圖3 高屏溪流域於莫拉克颱風7日至9日警戒訊息發布情形

五、結論與建議

坡地災害整合警戒模型別於國內外過去各種警戒模型，係以視覺化空間警戒資訊突破傳統之坡地災害潛勢研判，且利用傳統降雨觀測與雷達空間估計降雨之整合結果，確實提升山區雨量空間解析度，同時可將各部會如地調所、水保局、公路總局各項監測資訊，通阻事件一併顯示於空間模型上，自動化研判可能之災害發生區位，並未來可能之受衝擊之山區部落，利於未來中央災害應變中心指揮官作為相關之決策參考。

然而，在雷達-雨量站整合降雨資料仍對於高程與地形有所限制，進而影響警戒發布判斷；另外，由於災害警戒門檻值設定是由地面雨量站觀測資料內插而得，對於不同雨量來源資料是否影響門檻值高低尚未於本研究探討，將來進一步可針對此再進一步探討。

參考文獻

1. 王安翔、林李耀、鳳雷及張智昌, 2009: 2008 年颱風個案在嘉義縣市之雷達定量降雨, 天氣分析與預報研討會, 台北, 202-207。
2. 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德 (2008) 坡地災害整合警戒技術之探討。2008 臺灣災害管理研討會論文集, 編號 C-03。
3. 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德 (2008) 崩塌及土石流預警精進研究。國家災害防救科技中心編號 NCDR 97-T18 技術報告。
4. 林李耀、王安翔、黃麗蓉、張智昌、林聖琪、李清勝及周仲島, 2006: 雷達雨量資料在土石流預警之應用。天氣分析與預報研討會, 台北, 5-11~5-16。
5. 林李耀、王安翔, 2007: 雷達降雨應用在洪水及淹水預報之研究(1/3)。國科會研究計畫報告書, 1-48 頁。
6. 林李耀、王安翔, 2008: 雷達降雨應用在洪水及淹水預報之研究(2/3)。國科會研究計畫報告書, 1-56 頁。
7. 國家災害防救科技中心 (2009) 莫拉克颱風災害概述。地工技術, 第 121 期, 第 75 至 82 頁。
8. 國家災害防救科技中心 (2009) 莫拉克颱風災情普查成果報告。