

# 應用雷達雨量於陳有蘭河流域之疏散避難預警

楊明德

國立中興大學土木系教授暨  
國立中興大學環境保育暨防災科技研究中心 主任

徐瑞宏

經濟部水利署第四河川局副工程司

## 摘 要

近年來極端氣候使致颱風豪雨事件頻傳，降雨強度增大且集中，豪大雨易造成人民生命財產的損失，因此防汛期間之災害預警更顯重要。降雨觀測為水文、洪水預報系統中最基礎的一環，利用即時的雨量觀測可提高洪水預報、水位及流量的預報準確度，作一預報、推估分析以利減災工作執行。本文介紹以陳有蘭河流域為研究區域，以雷達雨量校正模式提高降雨預測準確度，進一步有效提升預警系統效能。

陳有蘭河流域地理環境特殊，近年來又受極端氣候影響每逢豪雨颱風季受土砂與洪水災害影響甚大，利用氣象局所提供未來 3 小時雷達降雨修正資料，以提供陳有蘭河流域村里警戒，可提早 3 小時預知降雨量，作為供村里進行疏散避難啟動時機之依據。

關鍵字：雷達迴波雨量、避難疏散、防災教育

## 一、前 言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓板塊交界之地震帶上，致使地震災害頻傳，921 大地震後敏感的地質益顯脆弱。又因位處亞熱帶，夏秋二季颱風頻襲，所以每逢颱風、豪雨常會發生大規模之坡地滑動、土石流、洪水等天然災害，造成經濟與人民生命財產的莫大損失。2009 年 8 月 7 日中度颱風莫拉克侵襲台灣，伴隨著西南氣流，帶來多日的豪大雨，導致台灣中南部地區與東部縣市嚴重山崩、土石流及水患，並發生小林村全村幾近滅村之憾事。依據行政院莫拉克颱風災後



重建推動委員會之統計資料，總計全台 634 人死亡，76 人失蹤，農林漁牧產物及民間設施災情損失高達 164.4 億元新台幣，道路、橋樑嚴重受損中斷者達 254 處，堤防受損 57 處，學校受淹水、土石流侵襲及道路中斷影響者 1302 所。莫拉克颱風帶來「八八水災」之災害規模更超過半個世紀前之 1959 年「八七水災」，造成民眾生命財產及家園嚴重損失。陳有蘭溪流域因 921 地震過後地質破碎鬆散，加以近年來颱風豪雨事件頻繁，降雨大且集中，每當梅雨颱風季即誘發土砂災害，莫拉克颱風更是重創陳有蘭溪流域，留下不可抹滅的印記<sup>[1]</sup>。本文介紹藉由雷達降雨修正資料提供陳有蘭溪避難疏散之預警基準。

## 二、陳有蘭溪流域

陳有蘭溪流域位於南投縣信義、水里、鹿谷鄉境內，形狀近似長方形，為濁水溪之最重要支流，主流發源於玉山北峰八通關之金門峒大斷崖(海拔 3910 公尺)，自南向北流經山區，於東埔附近有沙里仙溪匯入，並於和社附近有和社溪匯入後蜿蜒流經信義鄉及鹿谷鄉境，其下游於水里鄉新山、永興村附近匯入濁水溪本流，如圖 2 所示<sup>[2]</sup>。主流全長 42.4 公里，流域面積約 4 萬 5 千公頃，主流平均坡降約 6.75 %，為濁水溪本流之 3.7 倍，在台灣多山地區算是相對陡峻，更勝過世界大多數河川平均坡度<sup>[16]</sup>，圖 1 為陳有蘭溪流域內水系及土石流潛勢溪流之位置圖。

陳有蘭溪河谷沖積扇發達及崩塌地多為另二項地形上之特色<sup>[3]</sup>，河谷沖積扇發達表示該河川沖刷量大，且隱含地質變動快速的意義。陳有蘭溪的崩塌地主要有「向源侵蝕型」及「河岸侵蝕型」兩類，而崩塌地發達是河川淤積及沖刷量大的一另主要原因，同時也隱含地質變動頻繁致山坡不穩定。陳有蘭溪流域自 1996 年賀伯颱風起即頻繁發生嚴重災情，其中 2009 年莫拉克颱風更造成難以抹滅的記憶。

莫拉克颱風在南投縣造成的災害包括 10 人死亡 6 人失蹤，農林漁牧災損約 6 億 8 千萬元，水利設施復建經費約 1 億 2 千萬元。其中大部分災損集中在水里鄉及信義鄉之陳有蘭溪流域，主要災點如表 1 及圖 2 所示。重大災情包括：1. 新山村路基掏空壽山橋及 20 多戶民宅遭沖毀，多戶民宅懸空。2. 信義鄉神木村隆華國小遭土石流沖毀。3. 哈比蘭明隧道坡趾侵蝕(沖刷)造成大面積坡地崩塌。4. 台 21 線 96K 至 112.4K 坡趾遭洪水淘刷造成多處邊坡大規模滑落，道路中斷。5. 神木村因霍薩溪、和社溪數條支流發生集水區崩塌及土石流造成數萬立方土石下移，愛玉子溪橋沖毀，對外聯絡道路沖毀中斷。6. 台 21 線神木往塔塔加、阿

里山路段之新中橫公路多處塌方<sup>[2,4,5]</sup>。

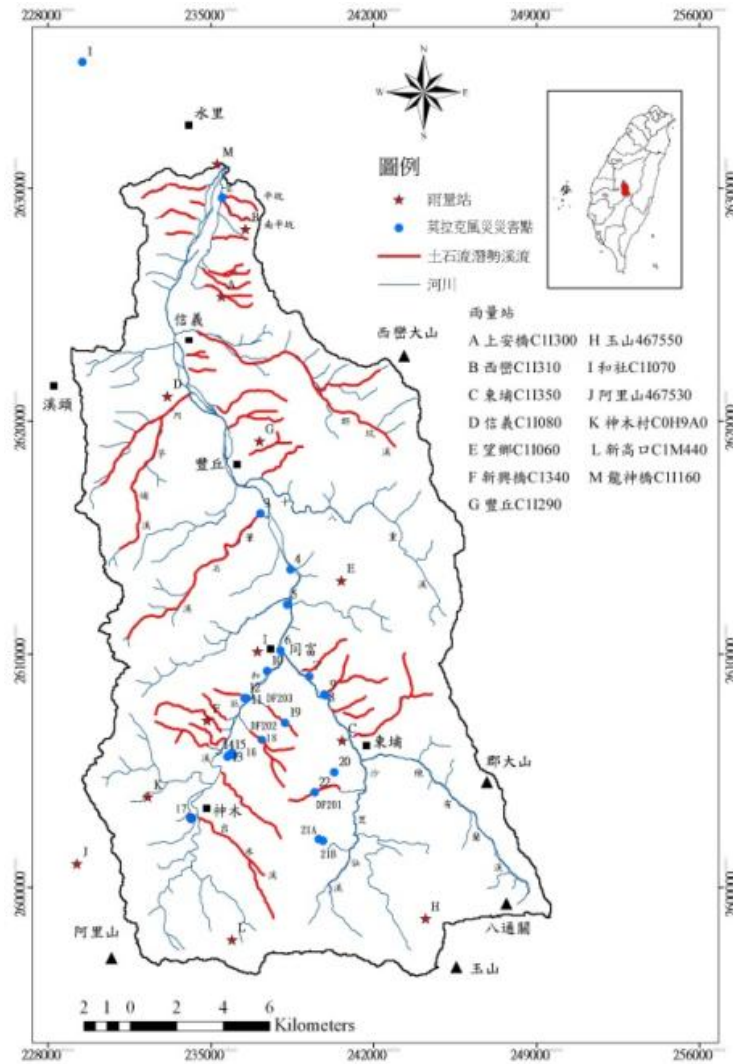


圖 1 陳有蘭溪流域土石流潛勢溪流分布圖



表 1 莫拉克颱風陳有蘭流域重大災點

地點	災情概述	坐標(公尺)
集集鎮 台 16 線 11K	台 16 線路基沖毀約 300 公尺，7 部車落水。	X：230316 Y：2635211
水里鄉 新山村	路基掏空壽山橋及 20 多戶民宅遭沖毀，多戶民宅懸空。	X：236317 Y：2629380
信義鄉	哈比蘭明隧道坡趾侵蝕(沖刷)造成大面積坡地崩塌。	X：240775 Y：2608037
信義鄉	台 21 線 96K-112.42 多處道錄下邊坡坡趾遭洪水沖刷造成大規模邊坡崩落，道路中斷。	X：238250 Y：2609078
信義鄉 神木村	隆華國小遭土石流沖毀，目前學校已封閉。	X：237370 Y：2607916
信義鄉 神木村	神木村因霍薩溪、和社溪數條支流發生集水區崩塌及土石流造成數萬立方土石下移，愛玉子溪橋沖毀，對外聯絡道路沖毀中斷	X：235183 Y：2602756 (愛玉子溪橋)
信義鄉 新中橫 台 21 線	122k+500 坍方約 2 萬立方(長 80 m 寬 10 m 高外側 2 m 內側 10 m)、122k+600 路基流失(長約 100 m 深 100 m)。、122k+750 坍方約 5 千立方(長 100 m 寬 8 m 高外側 2 m 內側 15 m)，道路阻斷。	X：240368 Y：2603974 (台 21 線 122k+500)





圖 2 陳有蘭溪流域莫拉克風災重大災害點



### 三、雷達降雨資料

劇烈天氣監測系統(QPESUMS, Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors)為中央氣象局自 2002 起結合經濟部水利署、農委會水土保持局及美國劇烈風暴實驗室共同投入研發之天氣現象即時掌握系統，藉由全台站五分山、清泉崗、花蓮、馬公、七股、墾丁等 6 個雷達觀測站之雷達回波，進行氣象與水文等產品之整合，其觀測範圍涵蓋全台可提供相關防洪、防救災單位即時性天氣監測資訊。在多重觀測資料及地理資訊整合下，提供即時性劇烈天氣監測資訊、過去 72 小時內高解析度之定量降水估計及 0~3 小時定量降水預報產品等內容，圖 3 為中央氣象局所發布之雷達回波圖。而 QPESUMS 雖可觀測大範圍之降雨，但因台灣地形多變且複雜，雷達受地形遮蔽或對流胞運動路徑預測困難，且易受地形遮蔽效應影響，於高山地區之降水預報造成較大之誤差等因素影響，造成 QPESUMS 系統之雨量資料出現誤差的情形，故於局部地區使用前，宜做相關修正以提高降水預報準確度。

QPESUMS 雷達雨量廣泛應用於災害預警，如國內常應用於土石流預警及洪水預警方面。李天浩、林忠義針對普通及通用兩類聯合克利金法，包括普通聯合克利金法(OCK)、修正聯合克利金法(MOCK)、通用聯合克利金法(UCK)、空間趨勢通用聯合克利金法(UCKT)等 4 種方法，探討在 5 種雷達觀測誤差情形下，正確推估雨量空間的能力，研究發現 4 種方法在各種雷達觀測誤差情形下表現各有優異<sup>[6, 7]</sup>。在洪水或淹水預測方面，林淑惠應用 QPESUMS 降雨資料，於淡水河流域利用類神經網路建立出地面雨量站未來 1~3 小時預報模式，以三個颱風事件做模擬，其預報水位 RMSE 指標改善百分比均維持於 12% 以上<sup>[8]</sup>。蔡孟原使用類神經網路建立之洪水預報模式，並利用雷達降雨資料得到颱風期間流域內中小尺度的降雨時間與空間變化，於水位觀測或洪水預報之模擬準度皆具有相當程度之提升<sup>[9]</sup>。

白仁德等針對三個鄉鎮土石流潛勢地區進行問卷調查，經交叉分析結果顯示土石流警戒發布後近 95% 的居民可以在 3 小時內準備好並離開，其半數以上的居民選擇前往政府開設的避難所<sup>[10]</sup>。吳杰穎針對南投水里鄉以及新竹尖石鄉透過問卷調查的方式比較其對於土石流災害認知情形與疏散避難之決策行為，研究結果顯示水里鄉居民撤離平均所花費的時間約 2.62 小時<sup>[11]</sup>。因此，應用 QPESUMS 降雨資料，陳有蘭溪流域之未來 1~3 小時預報應可適用於預警系統。

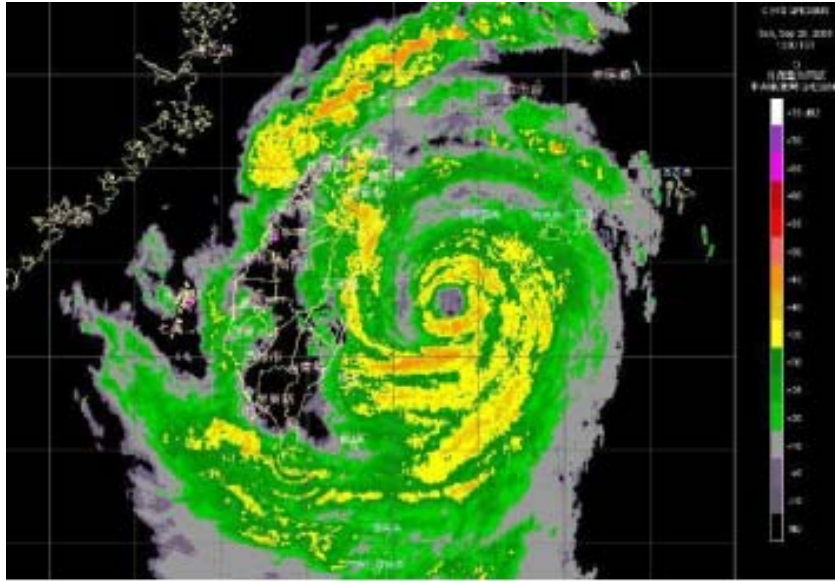


圖 3 中央氣象局雷達回波圖

#### 四、雷達降雨資料推估成果

傳統的降雨空間推估以雨量站實測值(一維資料)為基礎，採不同數學模式做二維降雨分佈推估。參考經濟部水資源局水文設計應用手冊(2001)建議採具 20 年觀測紀錄之雨量站進行頻率分析<sup>[12]</sup>、吳瑞賢(2001)於工程水文學中建議採 20 年以上之觀測紀錄雨量站進行分析<sup>[13]</sup>，陳有蘭溪流域達 20 年紀錄之雨量站共為 17 站，林暉翔採此 17 站作為雨量空間推估之已知點，分別利用反比權重法(IDW)、最小曲率法(雲形曲線法, Spline)、克利金法(Kriging)及聯合克利金法(Co-Kriging)等四法進行雨量推估，選取 5 個曾造成陳有蘭溪重大災害之颱風，包含 2004 敏督利颱風、2007 柯羅莎颱風、2008 辛樂克颱風、2008 卡玫基及 2009 莫拉克颱風，以颱風影響期間總降雨量進行雨量空間推估，並對推估之成果進行分析<sup>[14]</sup>。

研究成果顯示雷達降雨推估之雨量與實測資料之一致性明顯優於傳統雨量推估方式。比較雷達降雨校正前後與傳統雨量推估(Co-Kriging)之 RMSE 值(如表 2)，顯示雷達降雨之推估值與實測值較接近，再參考降雨歷時圖可看出雷達降雨趨勢與實測值較為接近，亦優於傳統二維推估之結果。以莫拉克颱風為例，計算參考站 24 小時累積雨量，並與地面雨量實測值進行比較，可看出雷達雨量預測之趨勢與實際降雨分佈趨勢一致，如圖 4 所示。圖 5 顯示卡玫基颱風於上安橋站在傳統及雷達降雨推估與實測值之降雨歷時，顯示雷達降雨之推估值與實測值較接近，亦優於傳統二維推估之降雨結果。山區因遮蔽因素未經校正前雨場的特徵無法呈現，由圖 6 比較校正前後降雨的分佈，校正後雷達雨量上游增加下游減少





的陳有蘭流域集水區的降雨特徵已被呈現。因此可利用修正雷達降雨預測未來三小時降雨比對水利署、水保局、公路局所定之警戒值，如表 3 為水土保持局公告之神木、同富村土石流潛勢溪流警戒值，進一步提供避難疏散的啟動參考。

表 2 傳統二維降雨空間推估與雷達降雨資料推估成果比較表

類別	事件	站名	RMSE_qpesums	RMSE_校正後	RMSE_qpesums_6hr	RMSE_校正後_6hr	RMSE_Co-Kriging_6hr
校正	卡玫基	上安橋	1.10	0.83	3.57	2.67	3.29
	卡玫基	望鄉	1.29	0.73	3.90	2.26	2.94
	卡玫基	神木村	1.18	0.96	3.54	2.87	2.49
	卡玫基	豐丘	1.27	0.92	4.15	2.78	1.58
	卡玫基	東埔	1.12	0.99	3.11	2.89	3.23
	鳳凰	上安橋	0.55	0.35	0.86	0.52	0.65
	鳳凰	望鄉	0.64	0.36	1.09	0.44	0.74
	鳳凰	神木村	0.75	0.53	1.64	1.13	1.96
	鳳凰	豐丘	0.48	0.38	0.77	0.60	0.55
	鳳凰	東埔	0.55	0.53	0.74	0.87	1.33
驗證	辛樂克	上安橋	0.84	0.59	1.45	1.16	1.33
	辛樂克	望鄉	1.14	0.61	1.59	0.81	1.25
	辛樂克	神木村	1.09	0.83	1.91	1.29	2.51
	辛樂克	豐丘	0.87	0.62	1.72	1.32	0.63
	辛樂克	東埔	0.84	0.75	1.35	1.19	1.94
	莫拉克	上安橋	0.79	0.52	2.10	1.07	1.58
	莫拉克	望鄉	1.16	0.54	2.58	0.74	0.79
	莫拉克	神木村	1.31	0.96	3.14	2.36	2.54
	莫拉克	豐丘	1.14	0.75	3.72	1.80	1.59
	莫拉克	東埔	1.11	0.60	2.52	0.68	1.09
	凡那比	上安橋	0.29	0.32	0.49	0.71	1.15
	凡那比	望鄉	0.92	0.54	2.58	1.51	2.24
	凡那比	神木村	0.43	0.36	1.02	0.83	1.70
	凡那比	豐丘	0.46	0.36	1.05	0.86	1.88
	凡那比	東埔	0.50	0.31	1.03	0.69	1.51



表 3 神木、同富村土石流潛勢溪流警戒一覽表(水土保持局)

村里	潛勢溪流編號	地標	潛勢	警戒值	參考雨量站
神木村	DF224	神木村神木巷11鄰	高	250	新興橋 神木
	DF225	林務局神木分站	高	250	
	DF226	神木村神木巷9鄰	高	250	
	DF227	神木大橋	高	250	
	DF194	玉平橋	中	250	
	DF195	民和橋	高	250	
	DF196	新興橋	高	250	
	DF197	同富活動中心	中	250	
	DF198	玉泉橋	中	250	
	DF199	神木大橋	高	250	
	DF200	舊愛玉橋	中	250	
	同富村	DF228	草坪頭橋	高	250
DF229		台21線102.4K	中	250	
DF201		烏乾溪橋	高	250	
DF202		頭坑橋、桐仔林橋	高	250	
DF203		隆華橋	中	250	
DF235				250	

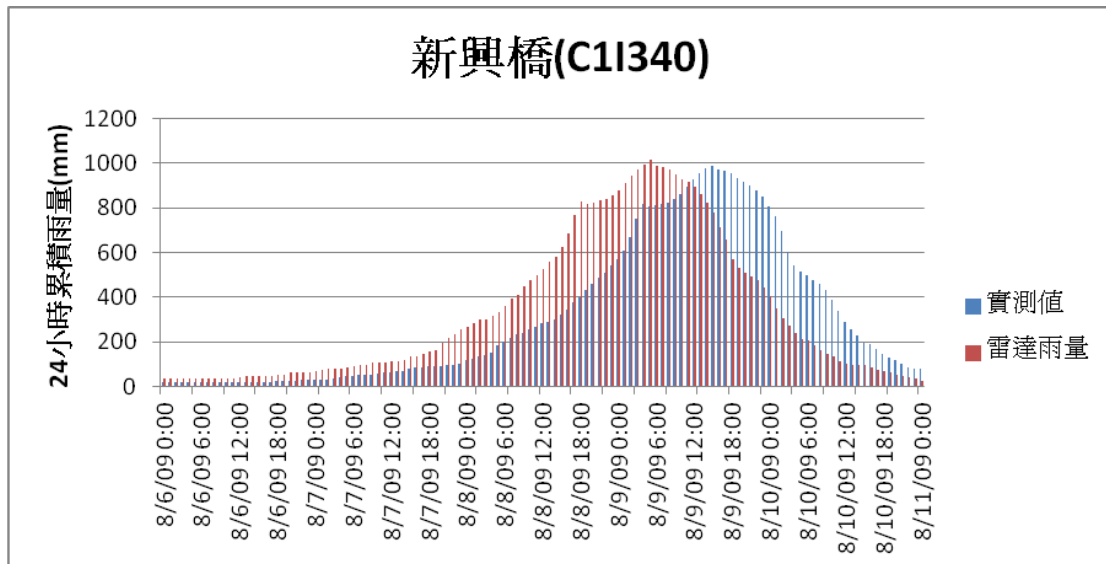


圖 4 莫拉克颱風新興橋雨量站雷達累積雨量與實測累積雨量歷時圖

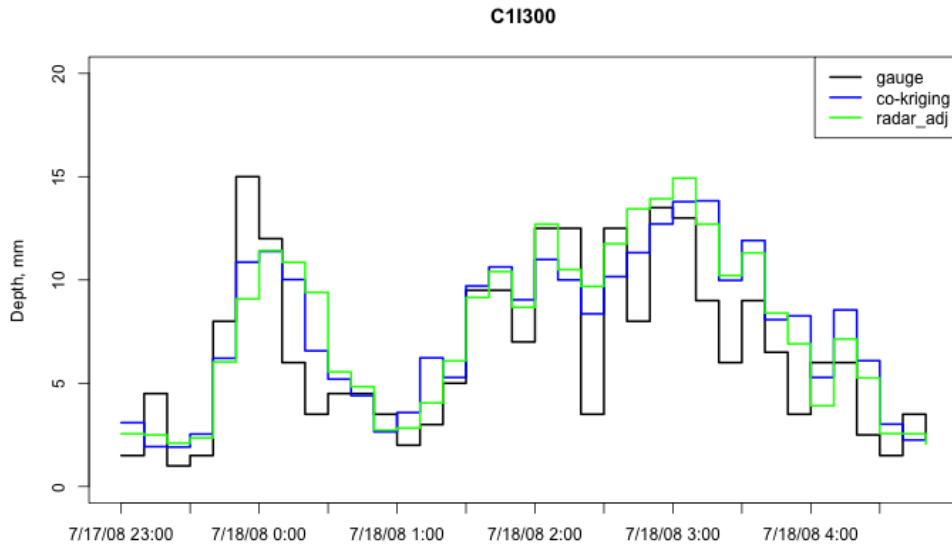


圖 5 傳統及雷達降雨推估與實測值之降雨歷時圖(上安橋站)

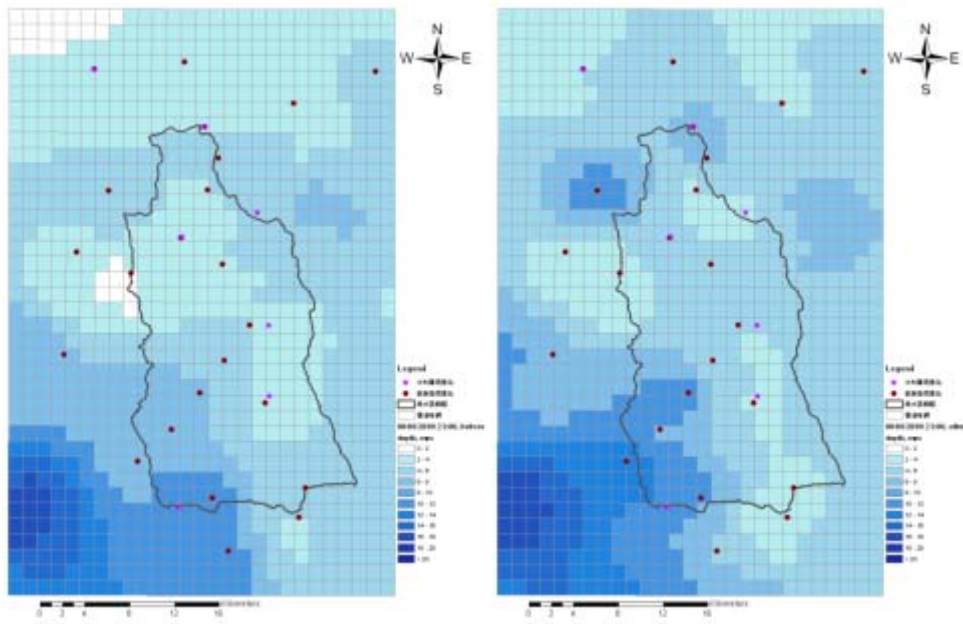


圖 6 雷達雨量校正前後比較圖(莫拉克颱風 2009/8/8 23:00)

當雨量到達警戒後，應依據實際情形進行避難疏散，利用地理資訊系統套疊陳有蘭溪流域地理資訊及雷達雨量 24 小時預測值，可提供災害警戒圖。圖 7 為莫拉克颱風 8 月 8 日 20:00 時預測未來 3 小時後新興橋雨量站累積雨量將達 250 警戒值，由於神木、同富、望美三村以新興橋作為參考站，因此以紅色區域顯示該村將於 3 小時後達警戒，必須做疏散撤離之動作。疊加預測疏散人口後，並與收容人口進行比較，可顯示避難處所可收容人數是否足夠(正值)或不足(負值)，其中神木村不足收容人口為 859 人，應立即進行往區外疏散。此未來 3 小時的預警將可提供足夠的疏散撤離時間，且其降雨預測準確性也大幅提升，對預防性的減災將有相當大的成效。

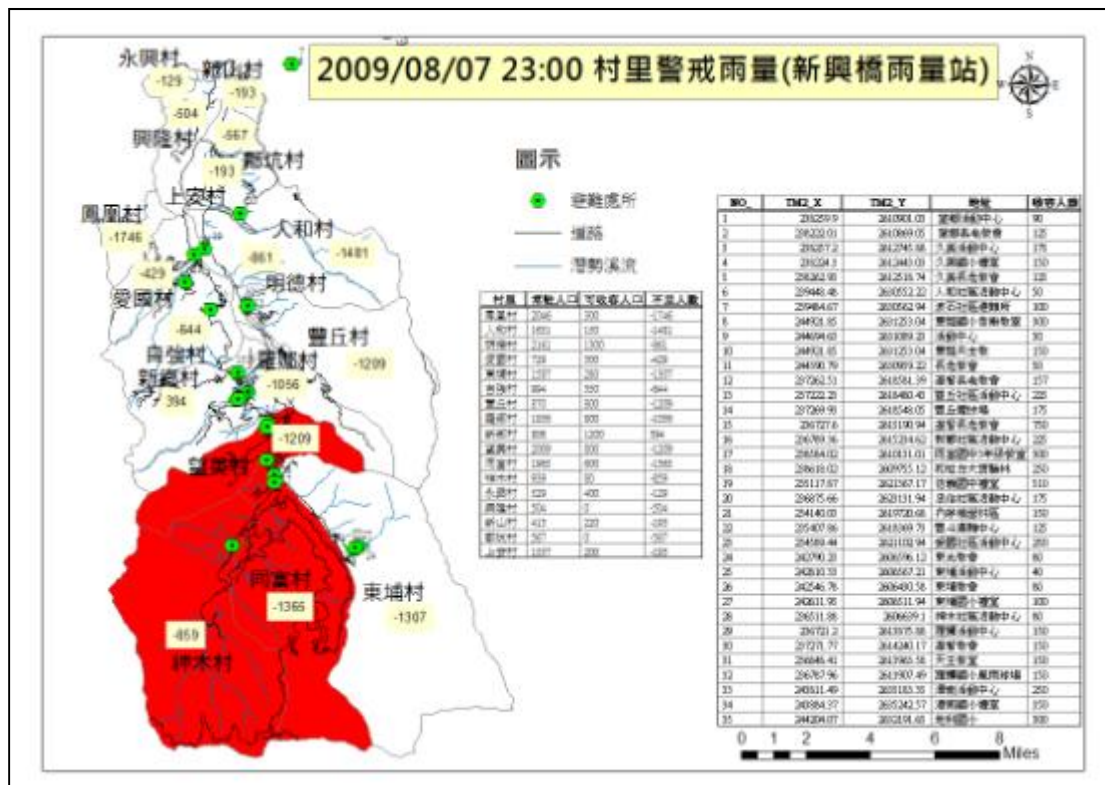


圖 7 陳有蘭溪避難疏散預警圖



## 五、防災教育

災害管理包括四個階段：減災、整備、應變、復原，其中減災階段的工作最為基礎與長久，故較易受到忽略。減災階段的防災教育是最終的一環，其重點在於建立安全的文化與深植安全的理念，並將防災概念化為生活習慣。教育部防災教育白皮書中揭示防災教育的四個基本理念：預防重於治療、永續發展、安全文化、零災害<sup>[15]</sup>。『天有不測風雲』，何時會發生災害有時是難以預測的，因此防災教育的推廣更須強調『預防重於治療』的重要性，著重於事前做好防範措施。因而防災教育的第一步是先對災害有一定的認知，且對於環境周遭的事、物以及可能存在的危害因子進一步的了解確認，並提出改善方案，對於各種災害事先收集資料及審慎規劃，並事先瞭解天然災害資訊，採取適當之防減災策略，以減低災害之損害。

在災害防治中，工程治理並不是萬靈丹，居民通常無法理解為何會遭遇如此天災，且災民經過災害後，對當地地形地貌的變化無法全面瞭解，導致只能對局部的變化做出偏頗的決定。如何進行易致災區居民宣導，讓當地民眾瞭解自身的危險處境，並讓當地居民接受目前當地的現況，對於致災原因、紅黃警戒、疏散避難等正確認知均需長期宣導教育。尤其在全球暖化下，氣候災變會更猛烈，未來無法在以自身經驗法則面對災變，須以正確瞭解防災機制，以及培養自主觀測雨量能力。

此外，社區防救災也是整個防災體系的最基礎工作，其內容包括讓社區有落實災害防救的操作能力，提昇社區民眾對災害之危機與防災意識、加強社區對環境安全的認知與敏感度、進行對策研擬檢討彙整可能致災因子，製作防救災資料或地圖，研擬改善建議與計畫，以提昇緊急應變及自救互救的能力。實務操作可透過居民參與，包括專業帶領社區現地調查、瞭解社區環境弱點及災害弱勢者、確認社區易致災因子及較安全區域、調查社區可用資源並建立成冊、進行資源記錄與彙整。並針對社區的防救災物資設備、既有組織及重點地標場所進行了解，定期地於災前整備救災相關物品及器材等。一旦大規模災害發生時，社區則可依先前的整備紀錄作即時的反應與調度，透過做中學、學中做的正向循環，檢視社區本身目前缺少的防救災資源，進一步訂定未來社區永續發展方向，以達到自主運作、健康發展安定成長的終極目標。



## 六、結論與建議

本文介紹以氣象局提供之未來三小時雷達降雨預測資料，進行 24 小時累積雨量計算，可發現雷達雨量資料可提早 3 小時進行預報，可提供足夠疏散避難所需要的撤離時間。雷達降雨推估方式經由校正後可大幅提升降雨預測準確性，對預防性的減災將有相當大的成效。以陳有蘭溪流域為例，證實以雷達雨量校正模式提高降雨預測準確度，有效提升預警系統效能，進一步也可以提供更精確的雨量資料以建立良好的水文模式，以提供逕流分析時使用，作為下游疏散避難啟動的參考。

針對流域內避難收容不足之村落，短期建議預測雨量達警戒值即進行疏散並增加防救災資源。長期目標可新增避難處所，另持續的防災教育也是必要的減災策略，推廣『預防重於治療』的重要性，以軟體、硬體並重方式，期望透過減災的手段，達成永續發展、安全文化、零災害的終極目標。

## 參考文獻

- 1.楊明德、林基源，「莫拉克烙在陳有蘭溪流域的印記」，工程科技通訊，106:36-42，2010。
- 2.楊明德、林基源、林蔚榮、黃凱翔、吳東諺，「莫拉克颱風陳有蘭溪流域災害 4 調查研究」，中華水土保持學報，40(4):301-312，2010。
- 3.李錫堤，「從地形學的觀點看陳有蘭溪的賀伯風災」，地工技術，57:17-24，1996。
- 4.林基源，「陳有蘭溪流域土石流發生潛勢判定模式之研究」，國立中興大學土木工程研究所博士論文，2003。
- 5.楊明德、黃奕達、黃凱翔、張益祥，「利用崩塌潛勢圖作風險評估之應用-以陳有蘭溪流域為例」，中華水土保持學報。43(1): 1-11，2012。
- 6.李天浩，「應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據之研究」，交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告，2009。
- 7.李天浩、林忠義，「評估四種聯合克利金法整合雷達和雨量站觀測估計降雨空間分佈的誤差特性」，中國土木水利工程學刊，22(1):23-41，2010。
- 8.林淑惠，「以超曲面迴歸克利金進行降雨量空間推估」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文，2010。
- 9.蔡孟原，「雷達定量降水應用在河川洪水預報之研究」，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2009。
- 10.白仁德、秦立林、黃冠華，「大規模災害下避難疏散決策需求與支援之研究-以颱風土石流易發生地區為例--子計畫:大規模災害下行動弱勢者之避難疏散



- 決策需求與支援研究研究成果報告」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，2007。
- 11.吳杰穎，「不同土石流潛勢居民疏散避難決策與行為之比較」，坡地防災學報，8(1):1-14，2009。
  - 12.行政院經濟部水資源局，「水文設計應用手冊」，2001。
  - 13.吳瑞賢，「工程水文學」，科技圖書股份有限公司，2001。
  - 14.林暉翔，「極端降雨下崩塌潛勢分析－以陳有蘭溪為例」，中興大學土木工程學系研究所碩士論文，2012。
  - 15.蔣偉寧等，「防災教育白皮書」，教育部，2004。
  - 16.M.D. Yang, J.Y. Lin, C.Y. Yao, J.Y. Chen, T.C. Su, C.D. Jan. Landslide-induced levee failure by high concentrated sediment flow - A case of Shan-An levee at Chenyulan River, Taiwan. *Engineering Geology*. 123: 91-99, 2011.