

雷達估計降雨於坡地災害之應用與限制

王安翔 林聖琪 張智昌 柯明淳 林李耀

國家災害防救科技中心

摘要

在過去坡地災害防治相關研究中，山區降雨監測為國內外在進行坡地災害雨量警戒值設定與代表性研究上遭遇到之困難。本研究以 2010 年凡那比颱風期間發生在屏東縣來義鄉來義部落之坡地災害為例，討論山區降雨觀測和雷達-雨量站降雨整合估計之評估結果，並對其分析結果說明整合降雨估計在坡地災害預警系統之應用情況。分析結果顯示，高時空解析之整合降雨估計可提供做為於坡地災害預警系統所需之雨量資訊，以及颱風和豪雨應變作業之參考。雖然目前雷達-雨量站降雨整合估計方法對於山區坡地災害警戒發布之應用有不錯之成果與成效，但是受限於台灣山區複雜地形與颱風侵襲不同時段之降雨差異，在山區短延時和強降雨監測上仍有無法精確掌握的情形與其使用上之限制。

關鍵字：雷達-雨量站降雨整合技術、坡地警戒預警系統

一、前言

台灣每遇颱風或劇烈降雨發生，常造成山區發生落石、崩塌及土石流等土砂災害。在過去坡地災害防治相關研究方面，坡地災害之警戒模式多參考雨量警戒值以做為應變作業之參考。然而，山區之降雨監測一直為國內外進行坡地災害研究所需之雨量警戒值設所遇到的困難，雖然台灣雨量站設站密度遠超過其他國家，然而台灣地形起伏變化亦遠超過其他國家，因此，山區之降雨特性研究往往是臺灣坡地災害研究之關鍵與瓶頸。

林等(2006, 2007)分析逐時雷達估計降雨與地面雨量觀測之關係，結果顯示逐時雷達估計降雨與地面雨量觀測之相關係數可高達 0.9 以上，唯降雨估計精度仍不夠。而 Chen et al. (2007)、林和王(2008)及王等(2009, 2010)使用雷達-雨量站降雨整合估計技術，進行山區坡地災害研究顯示，降雨整合估計之結果可大幅提昇坡地災區之雨量估計精度，此有助於坡地災害研究中雨量資訊的分析與研究。

在 2010 年凡那比颱風侵襲時，屏東縣來義部落發生大規模坡地災害。因此，本研究以 2010 年凡那比颱風個案在屏東縣來義部落所發生之坡地災害個案為例，進行來義部落與其鄰近地區之降雨分析，同時進行坡地災害預警模組整合測試分析。

二、資料來源與分析方法

本研究利用中央氣象局 2010 年凡那比颱風期間 QPESUMS 系統之即時雷達估計降雨和地面雨量站觀測資料，以雷達-雨量站降雨整

合估計技術(王等, 2010)計算來義部落和鄰近地區之整合估計降雨，此估計雨量結果之解析度為 $0.0125^{\circ} \times 0.0125^{\circ}$ ，範圍涵蓋臺灣地區 ($120.0^{\circ}E \sim 122.8125^{\circ}E$, $21.8875^{\circ}N \sim 25.3125^{\circ}N$)。根據凡那比颱風路徑資料依颱風登陸前、登陸及颱風出海之時段(圖 1)，做為討論颱風降雨歷程分段分析之依據。同時，以行政院農業委員會水土保持局於 2009 年莫拉克颱風後在來義部落設置之自動雨量觀測站資料進行現地降雨特性分析比較。現地雨量觀測站與氣象局所設立之來義雨量觀測站(C1R24)相距約 6.0km。因此雨量資料分別以來義部落之現地觀測雨量站與鄰近選取 L1 和 L2 兩個雷達-雨量站整合估計之檢驗點(圖 2)，做為不同地點之估計降雨評估比較。L1 位於來義部落上游地區，距來義站約 9km；L2 位於來義部落，距來義站約 6km。在估計降雨分析，則使用統計方法：(1)均方根誤差(RMSE, Root mean square error)，評估估計降雨之優劣。(2)相關係數(Correlation Coefficient)，了解估計降雨時序和觀測降雨時序之差異性。

三、坡地災害預警系統簡介

有鑑於坡地災害時間發生不確定性與考量颱風降雨特性，以 1989 年歷年颱風之累積雨量，進行雨量空間分布分析與各颱風事件之歷史坡地災點資料比對，找出坡地災害降雨警戒值(簡稱降雨警戒值)；另外，還需依據各縣市市政府整治狀況與前次事件致災規模之影響進行降雨警戒值調整。以屏東縣為例，依據過去致災颱風雨量平均值為 450.0mm 做為紅色警戒值，但由於 2009 年莫拉克颱風之影響，

調降一標準差為 350.0mm 做為 2010 年之紅色警戒值，並將其調整結果輸入坡地災害整合警戒研判自動化模型，簡稱坡地災害預警系統(林等，2010)。

四、 分析結果

依據凡那比颱風中心登陸前、登陸及出海時間，如圖 1 所示，將整場颱風降雨區分為三個時段(表 1)，分析 2010 年 9 月 18 日 18 LST 至 9 月 21 日 00 LST 之降雨時序(圖 3 和圖 7)，顯示來義站(C1R24)在凡那比颱風期間之降雨觀測有兩個極值，分別發生在颱風登陸後(時雨量 71.0mm，9 月 19 日 18 LST)，另一個在颱風出海後(時雨量 58.0mm，9 月 20 日 00 LST)。依據勘災調查結果(黃，2010)，顯示來義部落之災害發生在 9 月 19 日 23 LST，以 9 月 18 日 18 LST 為累積雨量計算起始時間，此時該地區之累積雨量高達 507.0mm，即第一個降雨極值發生後(9 月 19 日 18 LST)。

表 2 為 9 月 18 日 18 LST 至 9 月 20 日 08 LST 以水保局所設立之來義部落雨量站觀測降雨值為基準和其他觀測及估計降雨值進行比較，在累積降雨方面，來義部落站在此期間之累積降雨高達 834.0mm，和來義站(C1R24)之累積雨量 627.5mm 差距約 207.0mm。與估計降雨值相比，也是高出 115.0mm (L1) 與 179.0mm (L2)。另外，在相關係數與均方根誤差分析，顯示來義站和估計降雨檢驗點之降雨時序，其相關係數都高達 0.9 以上，但均方根誤差卻高達 10.0mm/hr 以上。若僅以 9 月 19 日單日觀測降雨進行估計降雨誤差分析，在此期間 L2 之整合估計降雨結果與來義部落之觀測比較，其均方根誤差相較整場颱風期間為小，約在 6.3mm/hr。這顯示在颱風期間，來義部落可能有相當強的降雨發生。在不同降雨分期之累積估計降雨空間分布方面(圖 4)，顯示第二降雨分期中，來義站之累積降雨為 407.0mm(圖 4 中，A 點)，但在來義部落東側上游山區之累積雨量已超過 400mm 以上(約 400.0~600.0mm)，表示上游集水區之累積雨量已超過高於平地，因此推論上游豐沛雨量匯集後，將前次莫拉克颱風所造成之崩塌土方混合往下游帶出，因此造成緊鄰來義溪之住戶遭到土石掩埋。

依據水保局之勘災調查(黃，2010)，顯示在 9 月 19 日 17~18 LST 對來義部落發佈土石流黃色警戒，在 9 月 19 日 20 LST 發佈土石流紅色警戒，約在 9 月 19 日 23 LST 時，土石流災害發生。由前述可知，該地區黃色與紅色警戒值發佈時機，若依據鄰近雨量站(來義站)之降雨觀測做為警戒發佈依據，則警戒應變反應時間較短。若使用雷達-雨量站整合估計降雨結果，將來義部落鄰近區域進行平均降雨分析(圖 5)，所得到之警戒發佈時間與水保局發布

警戒時間可提早約 2 小時。同時，由於整合估計降雨之高空間解析度，提供空間分布之降雨情形，因此可提供坡地災害分析研判人員對於坡地災害警戒發布之時間與空間分布(如圖 6 所示)，來義鄉坡地災害警戒值為累積雨量達 350.0mm，則達到警戒值 100%，則發布紅色坡地災害警戒；當達觀測雨量達到 700.0mm，代表該地區降雨量已超過警戒值 200%。由圖 6 中，顯示凡那比颱風在 9 月 19 日 18 LST 至 20 LST 之間，降雨明顯在上游發生強降雨，並隨時間逐漸往下游地區發展。在 9 月 19 日 18 LST 來義村上由已超到紅色警戒狀態(圖 6a)；至 20 LST 部分上游地區累積雨量已達 150%警戒值。有鑑於此，雷達-雨量站整合降雨估計與坡地災害預警系統確實有助於分析研判者在時間與空間分布的顯示介面了解該地方目前所承受之雨量狀況，可提供研判者對於未來災害疏散與避難決策時間點之律定和可能之救災作為參考。

五、 討論與結論

分析 9 月 18 日 18 LST 至 9 月 20 日 08 LST 來義站和來義部落站之時雨量和累積雨量時序分布(圖 7)，顯示在 19 日 23 LST 與 20 日 00 LST 分別觀測到高達 93.0mm 和 110.0mm，相較於來義站同一時段所觀測到之時雨量為 46.5mm 和 58.0mm，此兩小時在相距 6km 之地點，雨量差異為 98.5mm。這可能是由於颱風侵襲期間在山區複雜地形內所激發之對流，造成短延時強降雨的發生，但在雷達估計降雨方面，卻無法顯示出此一現象，此問題也是目前山區雷達估計降雨所面臨的難題之一。因此，在特定地區增加雨量觀測站，對於坡地災害之預警，應具有相當必要性。

本研究以 2010 年凡那比颱風期間發生在來義部落之坡地災害個案為例，評估山區觀測降雨和估計降雨特性與差異，以及整合降雨估計結果應用在坡地災害預警系統之可能性。主要結論歸納如下：

1. 依據颱風路徑分期之整合估計降雨分析，顯示來義部落上游山區有劇烈降雨發生，此可能為造成嚴重坡地災害的原因。
2. 使用鄰近雨量站之觀測累積降雨做為坡地災害警戒發布之依據仍有商榷性。
3. 由來義部落與鄰近地區之降雨分析，顯示山區降雨之複雜性。因此，在特定地區設立雨量觀測站，具有其必要性。
4. 高時空解析之整合降雨估計結果可做為坡地災害預警系統之降雨輸入資料。

由上述研究也顯示颱風期間之山區降雨

的複雜特性，未來仍需要更進一步對於相關議題進行研究，才可提升山區估計降雨之精度。

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。
3. 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。
4. Chen, Chien-Yuan, L. -Y. Lin, F. -C Yu, C. -S Lee, C. -C Tseng, A. -H Wang, and K. -W. Cheung, 2007: Improving debris flow monitoring in Taiwan by using high-resolution rainfall products from QPESUMS. *Nat. Hazards*, **40**, 447-461.
5. 黃明耀 (2010) 『99 年度土石流災害防救業務講習-因應氣候變遷流域綜合治理與防災策略』，行政院農業委員會水土保持局。
6. 王安翔、張智昌、林聖琪、柯明淳、林李耀，2010，雷達降雨估計於防災科技之應用。氣象局 2010 天氣分析與預報研討會，台北。
7. 林聖琪、王安翔、柯明淳及張智昌，2010：雷達降雨估計資料應用坡地災害警戒模型。氣象局 2010 天氣分析與預報研討會，台北。

表 1 凡那比颱風期間依據颱風路徑之降雨分期時段

降雨分期時段	歷經時數(hr)
9/19 00L-08L	8
9/19 09L-20L	12
9/19 21L - 9/20 08L	12

表 2 來義部落雨量觀測與鄰近地區之雨量站觀測及檢驗點估計降雨比較分析

(累積雨量時間:9 月 18 日 18 LST 至 9 月 20 日 08 LST。RMSE(2nd)表颱風降雨第二段時間之 RMSE，9 月 19 日 00 LST 至 9 月 19 日 23 LST)

	來義部落(SWCB)	來義溪 2(L2)	來義溪 1(L1)	來義站(CWB)
Acc. Rainfall	834.0	660.1	719.3	627.5
Correlation Coef.	x	0.97	0.96	0.92
RMSE	x	10.8	12.6	12.8
RMSE(2nd)	x	6.3	6.9	12.3

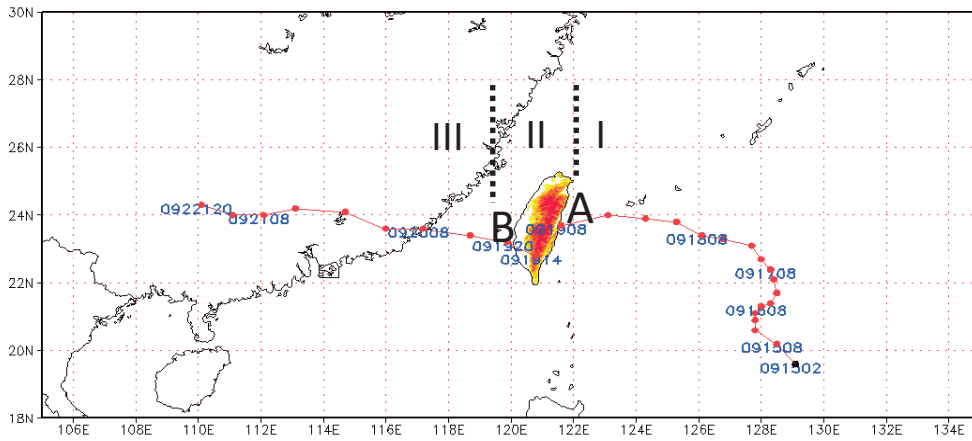


圖 1 2010 年 9 月 15-21 日之凡那比颱風路徑圖，圖中 A 為 9 月 19 日 08 LST 此為颱風中心登陸，B 為 9 月 19 日 20 LST 為颱風中心出海，羅馬數字為不同颱風降雨分期。

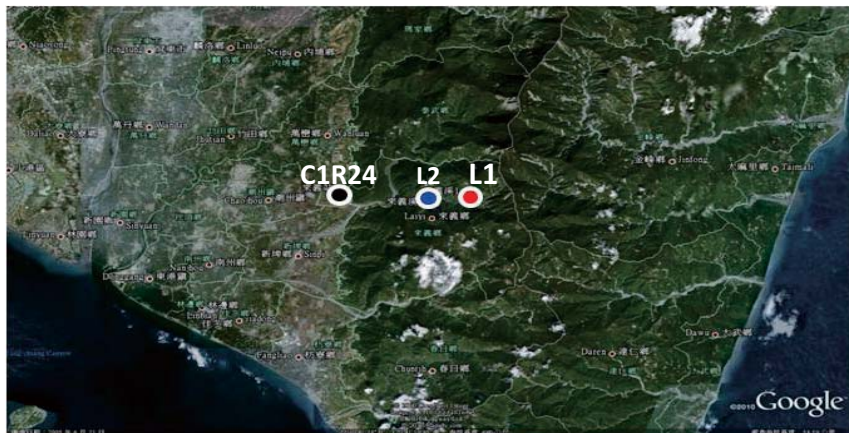


圖 2 屏東縣來義部落之雨量站與估計雨量檢驗點位置，圖中 C1R24 為來義雨量觀測站(CWB)，L1 和 L2 分別為估計雨量檢驗點來義溪 1 和來義溪 2。(地圖取自 Google Earth)

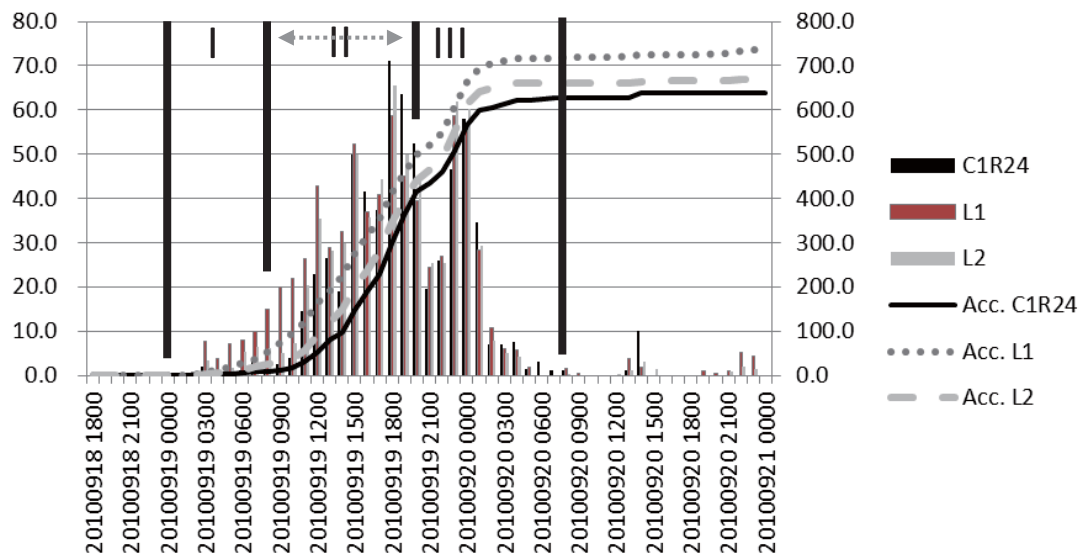


圖 3 2010 年 9 月 18 日 18 LST 至 9 月 21 日 00 LST 之降雨時序和累積降雨分析，時雨量 (mm/hr, 左軸)以主體圖表示，其中黑色、深灰及淺灰分別代表來義站(C1R24)、L1 及 L2。線圖表示累積雨量(mm, 右軸)，其中黑色、深灰及淺灰分別代表來義站(C1R24)、L1 及 L2。羅馬數字代表颱風之不同分期時間。灰色雙箭號表來義部落發佈土石流警戒與土石流發生時段。

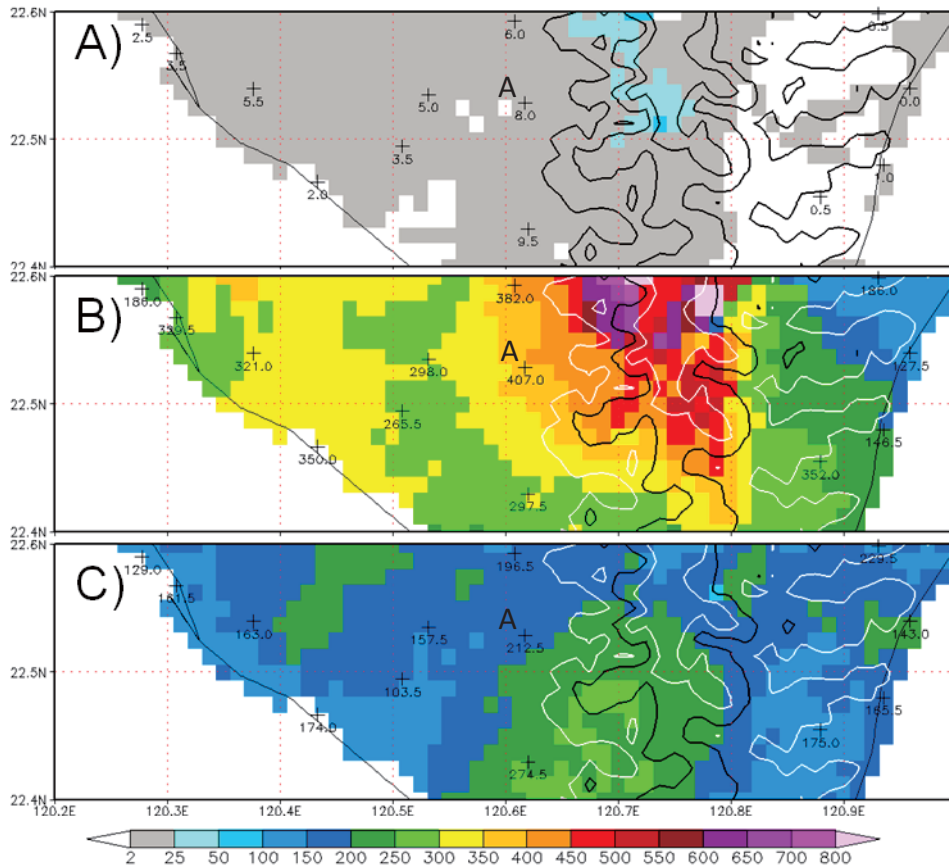


圖 4 來義部落鄰近地區之颱風不同分期累積降雨空間分布分析，(a)9 月 19 日 00-08 LST，(b)9 月 19 日 09-20 LST，及(c)9 月 19 日 21 LST 至 9 月 20 日 08 LST，雨量大小如色表尺所示，雨量單位毫米(mm)。A 之位置為來義站(C1R24)之位置，下方數值為累積雨量值。

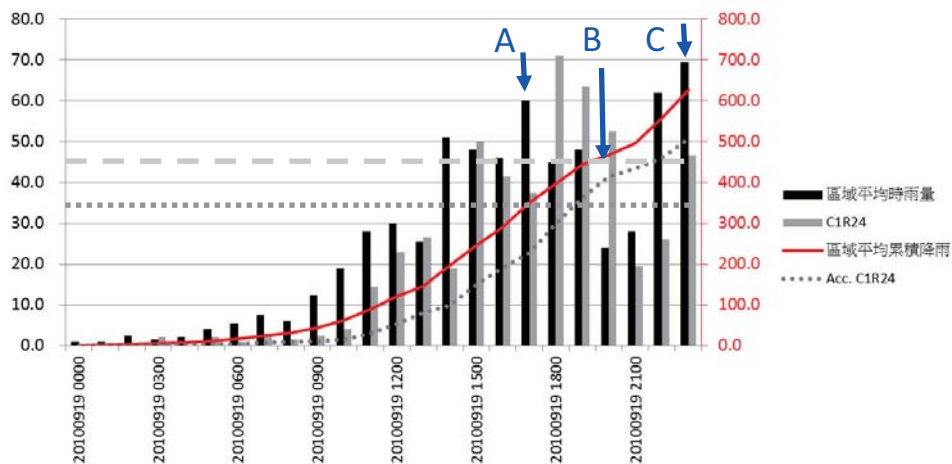


圖 5 來義部落區域平均時雨量與累積雨量和來義站觀測降雨之時序分析，黑色主體圖表區域平均時雨量，灰色主體圖為來義站之時雨量(單位：mm/hr，左軸)。紅線表區域平均累積雨量，灰色點虛線為來義站之累積雨量(單位：mm，右軸)。圖中 A 表示發佈土石流黃色警戒時間，B 表示發佈土石流紅色警戒時間，C 為土石流災害發生時間。點虛線為黃色警戒降雨警戒值(350.0mm)，長虛線為紅色警戒降雨警戒值(450.0mm)。

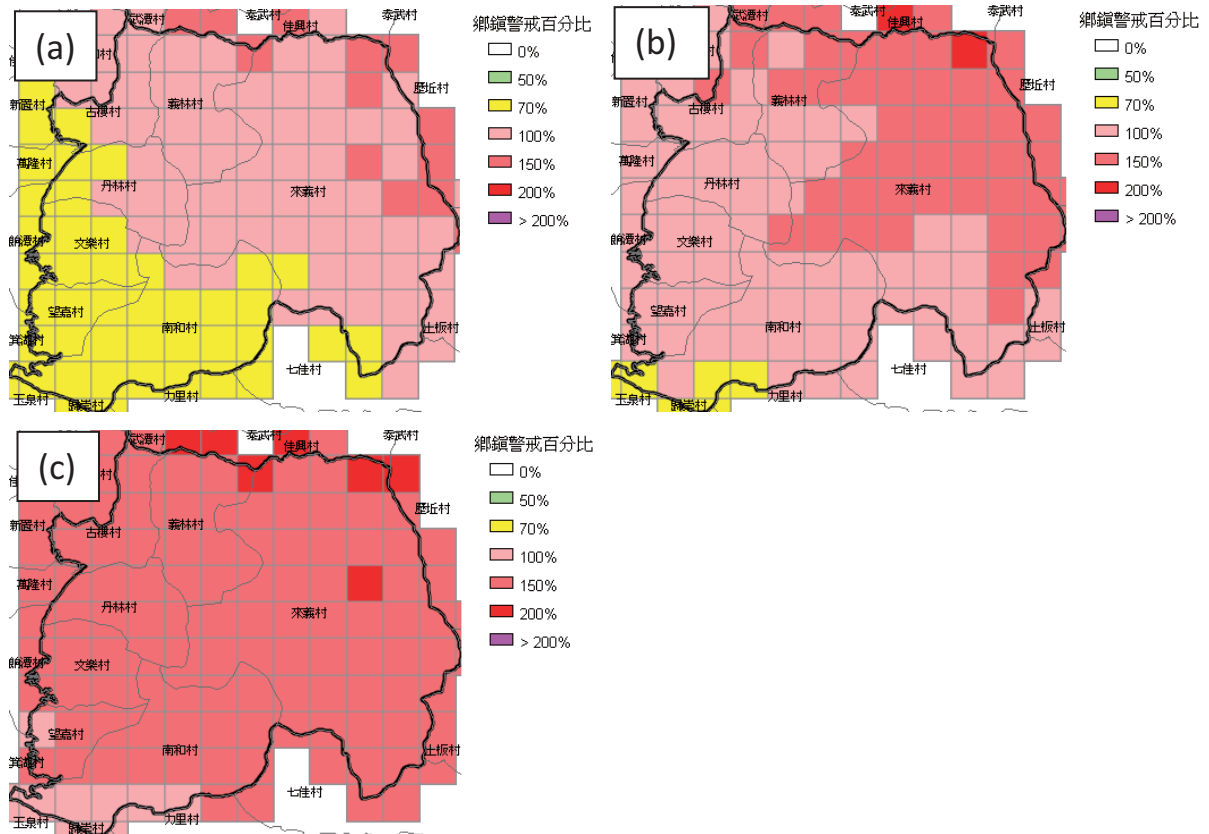


圖 6 凡那比颱風期間坡地災害預警系統之預警結果分布，(a)9月19日18 LST，(b)9月19日20 LST，及(c)9月19日23 LST；警戒程度高低如色標尺所示。

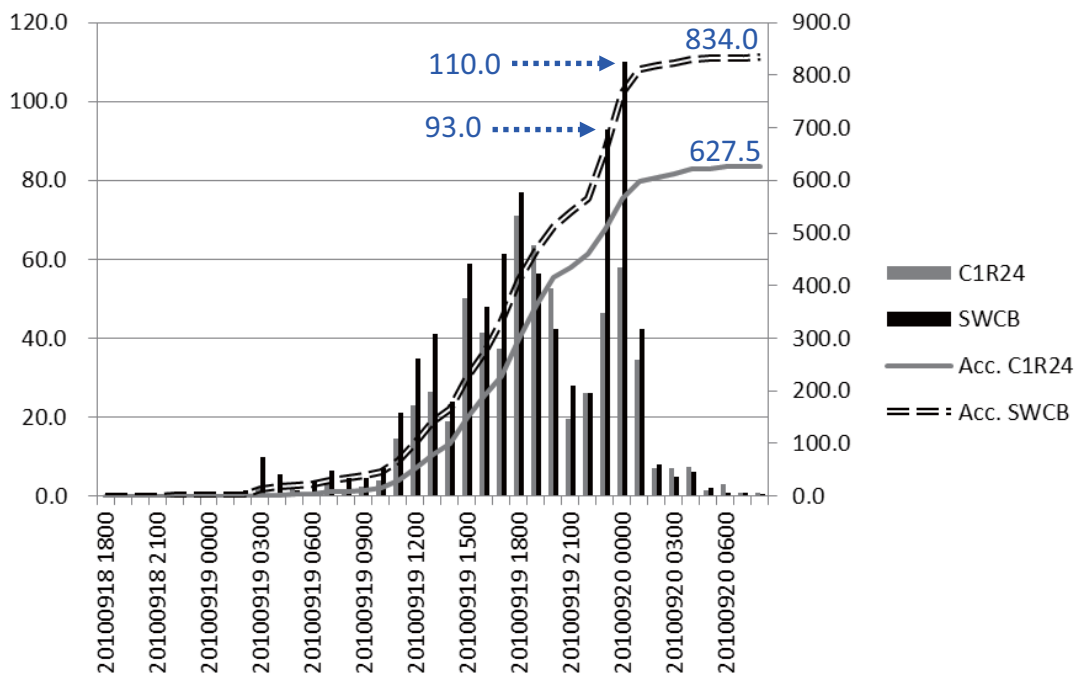


圖 7 2010年9月18日18 LST至9月20日08 LST之來義站和來義部落之降雨時序和累積降雨分析，其中灰色表來義站(C1R24)和黑色表來義部落站之觀測與累積雨量。時雨量為左軸(mm/hr)，以主體圖表示。累積雨量為右軸(mm)，以線圖表示。在9月19日23 LST和20日00 LST由來義部落雨量站觀測到時雨量高達93.0mm和110.0mm。