

應用氣象資訊在土石流預警上的個案分析

林冠宇¹ 林得恩¹ 尹孝元² 王子軒¹ 馮偉新² 周仲島¹

¹臺灣大學 大氣科學系

²農委會 水土保持局

摘要

本研究針對豪雨事件進行統計，從氣候分類出發，找出最近 5 年臺灣土石流事件在天氣系統發生時所伴隨的有利綜觀環境條件，釐清降雨時間、空間的分布態勢。並以 2018 年「0619」豪雨事件為例，說明如何運用不同診斷工具以及分析方法，彙整具體且有效的氣象資訊，俾利提供土石流預警決策之運用。

經由全球模式產品，預先掌握鋒面系統的發展趨勢以及綜觀環境條件，透過高解析度氣象模式瞭解可能降雨的時空分布與強度變化，滾動式修正與評估，進行發布土石流黃色警戒潛勢的研判參考。當警戒值動態預判將達黃色警戒發布標準時，透過中央氣象局 iTEEN 極短期預報產品及定量降雨預報系統，均反應出持續有強降雨發生的訊號，隨即針對部分區域發布土石流黃色警戒預警。系統影響期間，再經由氣象雷達降雨回波掃描、地面站實際觀測降雨數據以及施放氣象探空瞭解垂直大氣穩定變化等監測守視作為，提昇部分累積總降雨量高風險區域為土石流紅色警戒預警。本個案共計發佈有 51 條土石流黃色警戒與 8 條土石流紅色警戒，有效落實監測守視，提昇防災具體效益。

關鍵字：土石流預警、梅雨鋒面、氣象資訊

一、前言

臺灣獨特的地理位置、陡峭的地形與人口稠密的地理特性，是全球災害發生的高風險地區之一。根據內政部最新公布之「臺灣天然災害損失統計」資料，其中多數人員傷亡與經濟損失是因颱風災害所導致，其次是豪雨事件與地震災害。近年來，土石流或崩塌等坡地災害的肇生，不管是致災的頻率，或是發展強度，甚至於後續的影響傷損，均有快速向上攀升的趨勢，儼然成為新型的重大災害類型(陳，2009)。

土石流指的是，地層材料受到水力的推動或衝擊，所造成液化的現象，喪失其安定性而移動。一般而言，土石流的發生，除了需要堆積物本身的疏鬆條件外，亦需要足量的水及其衝擊力來引發；而沖蝕則為水對土壤顆粒離散及搬運的作用，當然少不了需要有「水」。崩塌地的發生，為在重力或重力與其它外力的聯合作用下發生；其中，所指其它的外力包括地震力、水的作用力、外加的載重、或原有側向支撐力的移除等等。人為的改變地形或坡地的開發利用，常常會導致崩塌的發生，故山

坡地的開發利用，應特別注意到邊坡穩定的規劃及崩土地的處理，以維持土地的安定。另一方面，「水」的作用，是最易發生且破壞加成效果最佳。

降雨是可以提供「水」的必要過程；臺灣有 75% 的土地屬於山坡地，每逢颱風或大雨等天氣，由於降雨現象相當顯著且劇烈，常易引發坡地災情，對臺灣山坡地住民造成相當大的威脅(李與楊，2012)。檢視臺灣過去的降水特性發現，主要的降水貢獻有二：(1)5、6月的梅雨鋒面所帶來的第一個降水峰值，以及(2)7、8月由颱風所帶來的第二個降水峰值(范，2005)。

由於臺灣的坡地災害事件多起因於颱風或豪雨事件所引發的強降雨。在過去的颱洪災害事件中，雨量資料的蒐整相對完整。再者，在災害應變與操作上，雨量的監測與應用，都是災害判定的領先因子(周等，2017；林等，2018)。因此，本研究優先針對氣象事件的降雨事件進行統計，嘗試從氣候分類出發，找出過去 5 年臺灣所發生的土石流或崩塌等坡地災害事件，在天氣系統發生時，所伴隨的有利環境條件，釐清降雨在時間、空間的分布態勢。後續以 2018 年 6 月 19 日豪雨事件為例，說明

如何透過不同診斷工具以及分析方法，運用具體且有效的氣象資訊，診斷洞悉當時大氣的結構特徵以及降雨特性，並運用於土石流警戒發布之作業。最後的結論，完成坡地災害預警之氣象資料支援下，可以得到的科學經驗，並適時回饋於防災單位參用。

二、氣候統計

統計資料來自農委會水土保持局土石流防災資訊網所彙整的「重大土石災情報告」情資，選取自2013-2017年(最近5年)坡地災害事件資料，主要以土石流與崩塌為研究對象。結果顯示，5年來，共有100件重大土石災情發生(圖1)，其中又以崩塌較土石流事件來的多，平均每年有20次事件發生。肇生個案在年際變化並無明顯特徵，亦即每年變化的趨勢並無固定規則；顯然，土石災情發生應與當時的物理環境特徵以及地形地理條件有關。至於，人員傷亡統計，以2015年共有5人死亡，2人受傷最多。

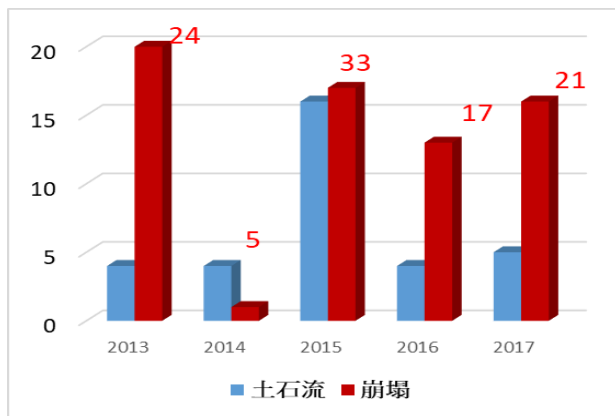


圖1、2013-2017年，坡地災害事件資料，主要以土石流與崩塌為研究對象。

圖2為統計臺灣重大土石災情事件發生的月份分布圖，顯見肇生最多事件的在8月(49次)，其次是6月、7月及9月的15、13及14次。而事件發生的區域分布圖(圖3)顯示，坡地災害最易肇生的區域在新北市，佔36次；中部的南投縣第二，也有13次；再來是臺東縣9次；嘉義縣有8次；桃園市有5次。顯見災害潛勢分布相當分散，災情熱區則多以近山區為多(林等，2017)。

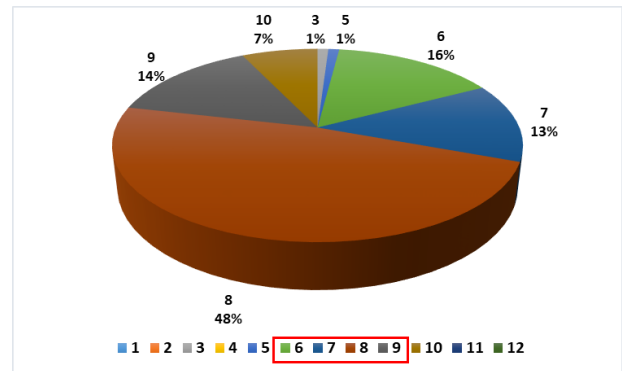


圖2、2013-2017年，臺灣重大土石災情事件發生的月份分布圖。

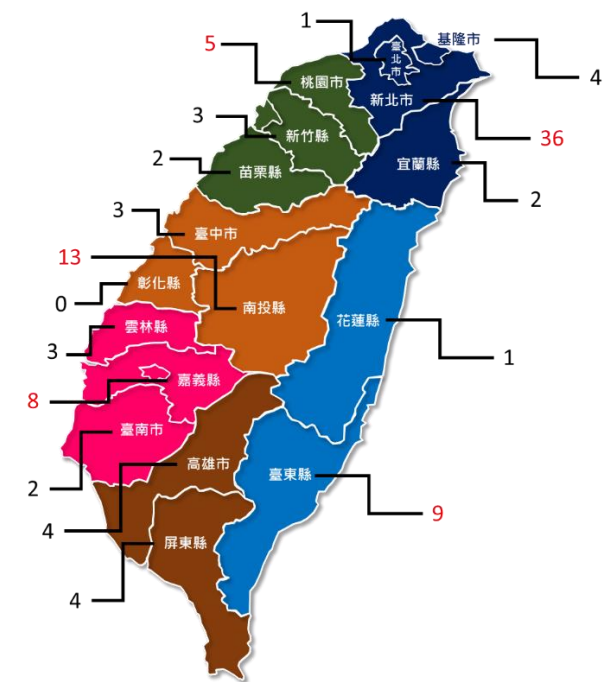


圖3、2013-2017年，臺灣重大土石災情事件發生的區域分布圖。

在這100件臺灣重大土石災情事件中，發生當時的大氣環境條件又可分為颱風，共有64件(佔事件總數的64%)；滯留梅雨鋒面，共有16件(佔事件總數的16%)以及其它(佔事件總數的20%)。顯見，颱風為近5年來肇致臺灣重大土石災情的重要環境天氣系統。而在上述所謂其它部分，又可分為颱風過後或共伴效應，共有8件(佔事件總數的40%)；非梅雨季滯留鋒面，共有8件(佔事件總數的40%)；地震，共有2件(佔事件總數的10%)以及午後雷陣雨，共有2件(佔事件總數的10%)，如圖4所示。

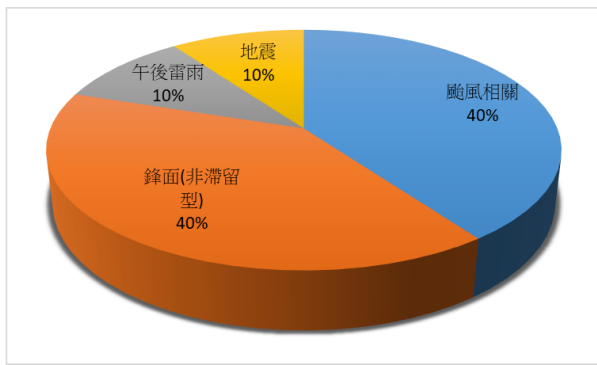


圖4、2012-2016年臺灣重大土石災情事件發生的環境天氣系統分類；已先扣除颱風及滯留梅雨鋒面的考量。

綜上，2013-2017年，臺灣重大土石災情事件發生，主要大氣環境條件的分類，若扣除地震的案例，以降雨特徵來看，可以分為以下3大類(表1)：

- 1、下雨時間不長，但下很多的雨：以颱風及午後雷陣雨為主。
- 2、下雨時間很長，下了很久的雨：以梅雨鋒面為主。
- 3、上述兩種情境發生後的3-5天內：以颱風過後為主。

表1、根據2012-2016年的資料顯示，臺灣重大土石災情事件發生，主要大氣環境的條件分類統計表。

項次	事件	分類	備考
1	下雨時間不長，但下很多的雨	颱風 <u>午後雷陣雨</u>	
2	下雨時間很長，下了很久的雨	梅雨鋒面	
3	上述兩種情境發生後的3-5天	<u>颱風過後</u>	

三、個案分析

本年度「0619」豪雨事件為上述第三種類型，屬梅雨鋒面北抬後，西南氣流再度增強的豪雨事件。本研究以此個案為例，進行個案分析並詳細敘述如何將氣象資訊運用於土石流預警作業上。

6月13日一滯留鋒面於南方海面生成，逐漸北抬，導致南部地區連日降雨，其中恆春半島降雨

顯著，後續滯留鋒面中有一低壓發展，通過臺灣後增強為今年第6號颱風「凱米」，持續向東北移動，且鋒面亦隨其向東北遠離(圖5)。因凱米颱風吸取西南方水氣(圖6)，導致凱米颱風遠離後，臺灣附近水氣較少，故15日晚間至16日白天有一較長的降雨空檔。後續低壓帶內持續有封閉性低壓及鋒面發展，17日下午南海上低壓擾動發展為另一熱帶性低壓(圖7)，臺灣位於其東北側，環境風場以偏南至南南東風為主，風向未能有效與中央山脈產生地形舉升效應，僅因較強南風堆積於沿海地區，造成16、17日恆春半島及東南部、西南部沿海有局部較大雨勢，此外中北部山區午後也有局部熱對流發展。18日熱帶性低壓北抬至廣東沿海一帶(圖7)，使臺灣附近風速增強、水氣略增，且風向逐漸由偏南風轉為西南風，下午配合熱力作用，西南部山區降雨漸趨明顯。

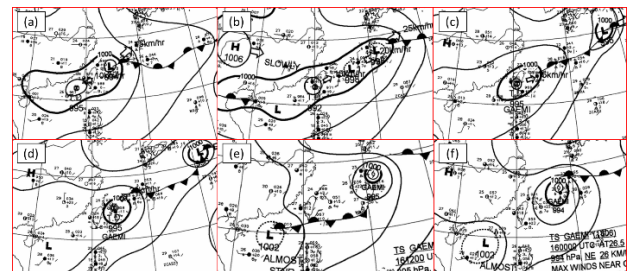


圖5、中央氣象局地面天氣圖。其中，(a)6月14日08時、(b)6月14日20時、(c)6月15日08時、(d)6月15日20時、(e)6月16日08時、(f)6月16日20時。

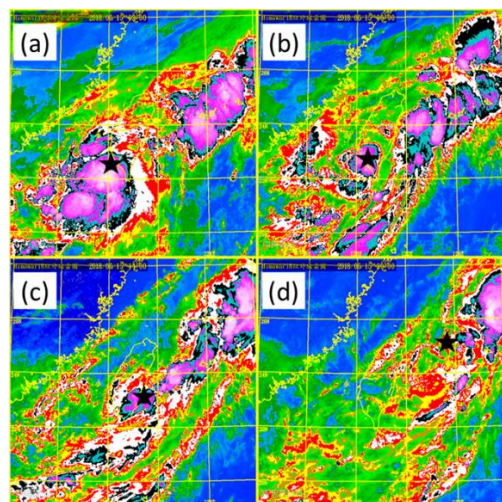


圖6、中央氣象局6月15日色調強化衛星雲圖。其中，(a)02時、(b)08時、(c)14時、(d)20時，黑色星號為熱帶性低壓中心位置。

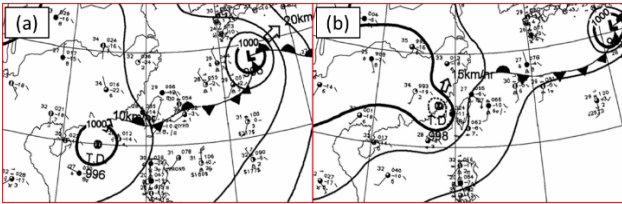


圖 7、中央氣象局地面天氣圖。其中，(a)6 月 17 日 14 時、(b)6 月 18 日 14 時。

19 日低壓北移至廣東陸地，臺灣環境為西南風且強風主軸指向臺灣(圖 8)，低層環境相當位溫偏高(圖 9)，顯示環境暖濕，中層有短波槽通過(圖 10)，臺灣位處槽前有正渦度平流，且不穩定度(K-指數)偏高(圖 9)。種種有利對流條件下，海上不斷有強回波移進陸地，且強度維持至山區，遇地形甚至有局部增強現象(圖 11)，導致 19 日嘉義以南地區發生劇烈降水，尤其山區日累積雨量多處超過 200 毫米，最大為屏東泰武鄉泰武雨量站 351 毫米，已達大豪雨等級。

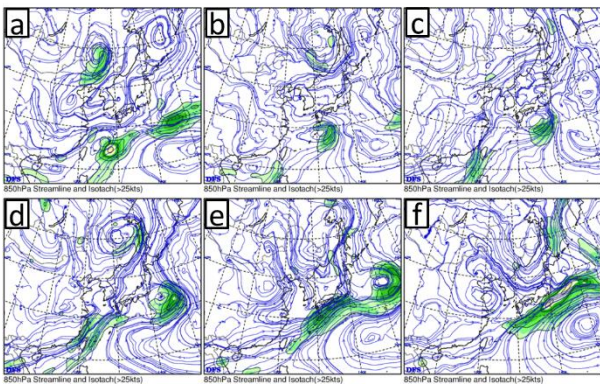


圖 8、850 百帕風場流線圖與風速，其中色階為風速大於 25 節，(a)16 日、(b)17 日、(c)18 日、(d)19 日、(e)20 日、(f)21 日。(KMA)

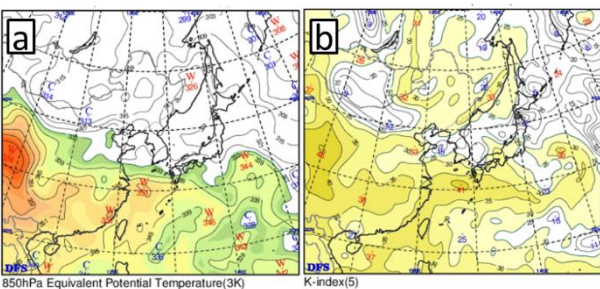


圖 9、(a)6 月 19 日 08 時 850 百帕相當位溫 (b)6 月 19 日 08 時 K 指數分布圖。(KMA)

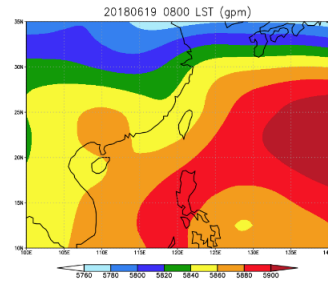


圖 10、6 月 19 日 08 時 500 百帕重力位高度場。

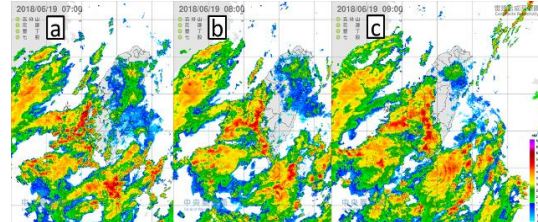


圖 11、中央氣象局 6 月 19 日雷達回波圖，(a)07 時 (b)08 時 (c)09 時。

20 日環境仍為西南風，惟強風主軸逐漸北抬、東移(圖 8)，臺灣西南側風速有減弱趨勢，強對流無法被送至內陸山區(圖 12)，當日降雨仍以中南部為主，但山區降雨以有明顯減緩，除屏東地區因平原狹窄，山區仍有較大雨勢外(屏東縣春日鄉大漢山雨量站日累積 201 毫米)，整日較大降雨皆發生於沿海地區(圖 13)，以臺南市七股區七股雨量站的 234 毫米為最大。19、20 兩日累積雨量最大為屏東縣泰武鄉泰武雨量站 509 毫米，屏東及高雄山區亦有多站超過 400 毫米，兩日累積排名如表 2 所示。

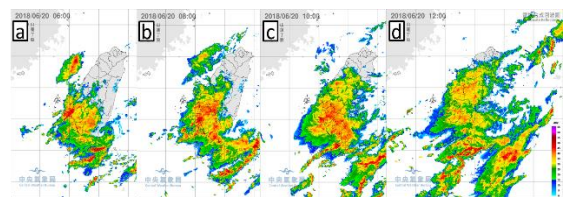


圖 12、中央氣象局 6 月 20 日雷達回波圖，(a)06 時、(b)08 時、(c)10 時、(d)12 時。

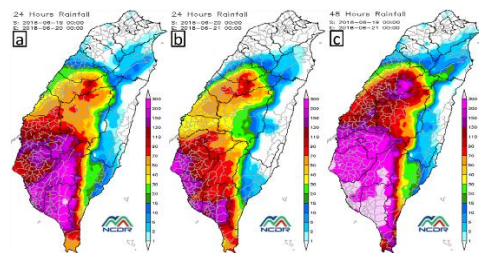


圖 13、國家災害防救科技中心累積雨量圖，其中，(a)6 月 19 日、(b)6 月 20 日、(c)6 月 19 至 20 日。

表 2、「0619」豪雨事件 2 日累積雨量排名。

排序	測站	2 日累積雨量	縣市鄉鎮
1	泰武	509	屏東縣泰武鄉
2	西大武山	487	屏東縣泰武鄉
3	舊泰武	452	屏東縣泰武鄉
4	大漢山	440	屏東縣春日鄉
5	新瑪家	439	屏東縣瑪家鄉
6	梓官	412	高雄市梓官區
7	士文	410	屏東縣春日鄉
8	南和	397	屏東縣來義鄉
9	多納林道	395	高雄市茂林區
10	岡山	390	高雄市岡山區

21 日起，西南風更為減弱(圖 8)，惟滯留鋒面仍在臺灣北部外海，且環境水氣稍多，迎風面西南部地區降雨更侷限於沿海，且降雨主要為深夜至清晨之陸風與環境風場之輻合所造成，其餘各地則以午後熱對流為主，降雨以臺北市文山區及新北市新店區多處時雨量達 100 毫米以上最為劇烈(圖 14)。

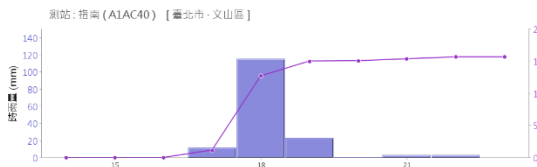


圖 14、臺北市文山區指南雨量站 6 月 21 日午後降雨歷線圖(NCDR)。

四、應變過程

透過全球模式(美國 NCEP 或歐洲 EC 模式)預先掌握 6 月中旬將有明顯低壓帶於巴士海峽滯留並逐漸北抬，有影響臺灣機會，且此系統可能影響臺灣將近一週的時間，模式針對低壓帶中低壓發展的掌握度雖不佳但仍可看出此訊號，並且預報顯示，低壓發展向東北移動後，臺灣環境風場 19 日起轉西南風(圖 15)。此外，配合高解析度區域模式(CReSS，雲解析風暴模式)，亦顯示 19 日因西南風增強，中南部山區可能有較劇烈降水發生(圖 16)。

15 日晚間透過衛星雲圖看出因凱米颱風吸收環境週遭水氣，遠離臺灣後，環境水氣明顯減少(圖 6)，因此預估 16、17 日臺灣降雨應有短暫空檔，地面天氣圖顯示南海擾動發展為熱帶性低壓並向東北東移動，雖不會直撲臺灣，但其北抬後臺灣環境風場將轉為偏西南風，且風速明顯增強(圖 7)。

19 日根據氣象局最新定量降水預報產品顯示中南部山區降雨將較顯著(圖 16)，並透過 iTEENS 極短期預報系統顯示降雨將持續且降雨強度亦強(圖 17)，故於下午 14 時建議針對南投縣信義鄉、嘉義縣阿里山鄉、高雄市六龜區、桃源區及屏東縣三地門鄉、瑪家鄉、來義鄉發布土石流黃色警戒。

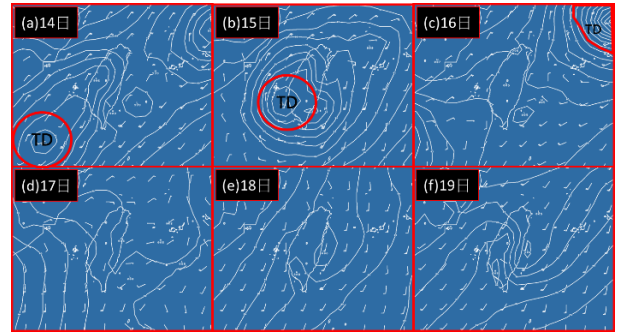


圖 15、EC 模式 13 日晚間預報 14 至 19 日海平面氣壓與地面風場圖。

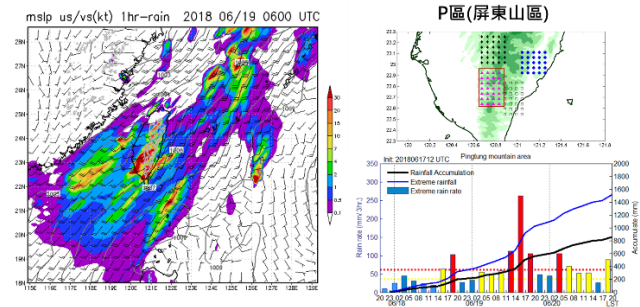


圖 16、CReSS 模式小時雨量、地面風場預報及分區降雨歷線圖(初始場為 17 日 20 時)。

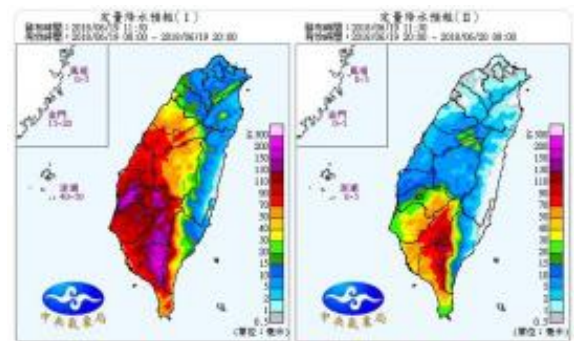


圖 16、中央氣象局 19 日 11 時 30 分定量降水預報產品。

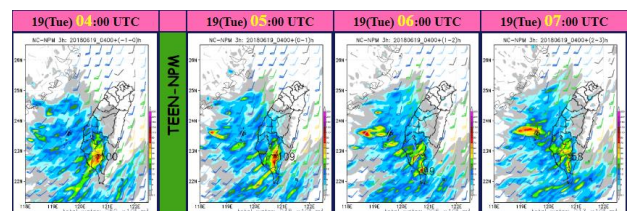


圖 17、氣象局研發極短期預報產品。

下午至晚間持續藉由氣象局雷達回波掃描產品、劇烈天氣監測系統(QPESUMS)即時降雨資訊及雷達估計降水等產品進行氣象即時守視。21 時最新雨量資料顯示，阿里山鄉及屏東縣多處累積雨量已達該地區土石流警戒值 90%以上，且由雷達資料亦可看出沿海仍有強回波發展並向陸地移動，此外雷達估計降水產品亦顯示該區未來一小時持續有雨(圖 18)。隨後氣象局公布最新探空資料，西南風雖略減弱，但仍有一定強度，且環境不穩定度(K-index)及垂直層水氣含量(QPF)持續偏高(圖 19)，顯示降雨雖減緩但將持續。因此 21 時 30 分立建議將雨量逼近警戒值的地區提升紅色警戒，包含嘉義縣阿里山鄉、及屏東縣三地門、瑪家、來義鄉。

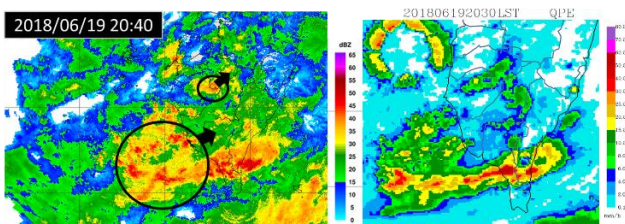


圖 18、左圖為氣象局雷達迴波圖；右圖為雷達估計降水產品。時間皆為 19 日 20 時 40 分。

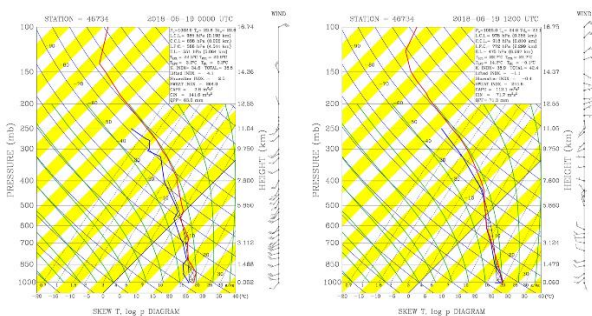


圖 19、馬公探空圖，左圖為 19 日 08 時、右圖為 19 日 20 時。

20 日白天起因環境西南風持續減弱沿海強回波雖有發展，但移至山區時皆減弱，山區降雨雖持續但強度已不如 19 日，下午起減緩趨勢更顯著。因此逐步將警戒調降及解除，經由即時測資料及模式預報結果，顯示臺灣環境西南風明顯減弱，強西南風主軸已北抬至臺灣東北部外海，配合氣象局定量降水預報，後續降雨主要為深夜、清晨弱西南風及海陸風效應於中南部沿海之降雨，山區降雨則較少，以及北部山區午後熱對流。雖預報上，北部山區降雨將會極為顯著，但因 13 至 20 日北部地區幾乎無降雨發生，且此降雨型態屬午後熱

對流，延時不長，且累積雨量少，因此判定並無需針對北部地區發布警戒。而原已發布警戒區域因 21 日降雨明顯減緩，達解除標準，清晨時即解除所有警戒。

五、結論

根據過去研究顯示，土石流災情除本身地質結構需較鬆散外，大量的「水」為主要原因，就臺灣位處熱帶與副熱帶地區交會處，天氣型態複雜，時常有劇烈降水發生，經統計研究發現近五年土石流災情顯示，誘發土石流之豪雨事件以颱風、梅雨為主，當中亦包含系統通過後 3 至 5 天內所引發之豪雨事件。因此氣象資訊之解讀與應用，對於土石流之預警上有極大幫助。

本研究以今(2018)年 6 月 19 日豪雨事件為例，說明如何將氣象資訊有效運用於土石流預警防災上。先以全球數值模式產品，預先掌握鋒面系統的發展趨勢以及綜觀環境條件，透過高解析度區域模式瞭解可能降雨的時空分布與強度變化，進行發布土石流黃色警戒的研判參考。當警戒值動態預判將達黃色警戒發布標準時，透過中央氣象局極短期預報產品及定量降雨預報系統，均有反應出持續降雨發生的訊號，隨即針對部分區域發布土石流黃色警戒。系統影響期間，再經由氣象雷達降雨回波掃描、地面站實際觀測降雨數據以及施放氣象探空瞭解垂直大氣穩定變化等監測守視作為，提昇累積總降雨量逼近警戒值之高風險區域為土石流紅色警戒(圖 20)。本個案共計發佈有 51 條土石流黃色警戒預警，8 條土石流紅色警戒預警，有效落實監測守視，提昇防災具體效益。此外，藉由不同豪雨事件進行事後個案分析，依據氣象局分析、觀測資料及各區域或全球模式分析場，瞭解不同個案之降雨情形，有效提升對於天氣系統掌握之經驗，回饋於日後颱風、豪雨事件警戒發布之參考。

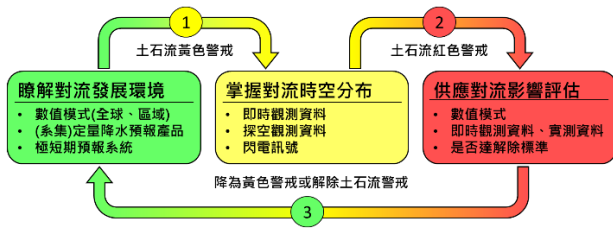


圖 20、各階段土石流警戒發布之氣象工具運用與資料研判流程圖。

六、參考文獻

- 李欣輯與楊惠萱，2012：坡地災害社會脆弱度指標評估與應用，都市與計劃，39(4)，375-406。
- 周仲島，2017：106 年防災氣象資訊守視與分析研判。行政院農委會水土保持局成果報告，305 頁。
- 周仲島、柯凱元、林得恩、胡敏儀、李佳晏，2017：臺北市結合臺灣大學能量精進颱風豪雨情資研判，災害防救電子報 2017 特刊，國家災害防救科技中心，1-14。
- 林得恩、周仲島、尹孝元，2017：氣象資訊在土石流及崩塌預警上的應用，第 23 屆水利工程研討會，臺灣，臺中。
- 林得恩、周仲島、尹孝元、胡敏儀，2017：氣象資訊在撥地災害預警上的應用，第 9 屆海峽兩岸論壇，中國，福建。
- 林得恩、周仲島、柯凱元、李智傑、胡敏儀，2018：臺北市夏季午後雷暴降雨與都市積淹水防災策略，災害防救電子報 2018 特刊，國家災害防救科技中心，已接受。
- 范楊衡，2005：颱風季節台灣降雨量年際變化之研究，國立中央大學碩士論文，台灣。
- 陳亮全，2009：「各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估研究-以社區空間為對象」，NSC 97-2621-M-002-028，台北：行政院國家科學委員會。