

# 梅雨鋒面肇致坡地災害之先兆環境研究

林得恩

國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心

## 摘要

我國軍高山陣地，面對劇烈天氣系統所造成降雨時空分布的不均，以及每每打破紀錄的總累積降雨量，坡地災害將是未來倍加嚴峻的考驗與挑戰。從過往坡地災害事件統計發現，事件一旦肇生，其所造成的損失與災害均相當嚴重。

本研究主要目的為透過科學量化的研判步驟，對歷史坡地災害事件進行診斷分析，瞭解梅雨鋒面產生劇烈降雨事件的氣候特徵與環境條件，釐清當時環境的關鍵氣象參數表現，進而延長坡地災害可能肇生的事先預警整備時間，有效支援強化防災應變指揮官進行災害警戒調度的決心下達。

**關鍵詞：**梅雨鋒面、坡地災害、氣象參數特徵

## 1. 前言

近年來，氣候變遷加劇下，劇烈降雨天氣的肇生、發展及強度變化，日趨嚴重與頻仍。我國軍高山陣地，面對天氣系統所造成降雨時空分布的不均，以及每每打破紀錄的總累積降雨量，坡地災害將是未來倍加嚴峻的考驗與挑戰。如何預先瞭解並掌握坡地災害潛勢的環境風險，有效釐清山區降雨特徵與強度，並事前完善預警整備，透過科學的作業與驗證，將天災可能造成的損失與傷害降到最低，俾利確保我國軍戰力發揚。

肇致坡地災害的3個重要條件，分別為一定的地形坡度、坡度上要有足夠的堆積物，以及充沛的降雨量；尤其是降雨行為，更是整個事件肇生的驅動者。然而，降雨只是結果，環境條件以及氣象量場在整個發展過程的前兆時刻，環境行為特徵已起變化。

透過統計診斷梅雨鋒面產生劇烈降雨事件的氣候特徵與環境條件(林, 2022)，歸納釐清出異動變化的關鍵訊號，嘗試釐清梅雨鋒面前兆環境的關鍵變化，並有效回饋至防災

預警的實際整備作業上，藉此建置梅雨鋒面可能肇致坡地災害事件之環境前兆所對應的氣候概念模式，掌握氣象因子的變化趨勢與重要參數。

## 2. 工作執行方法與研究內容

### 2.1 工作執行方法

彙整統計過去16年(2006-2021年)臺灣坡地災害事件的時間、地點、肇因及災情等基礎背景資料，做為本研究的個案樣本(其中，坡地災害事件選取，以水土保持局官網公告標定之重大災害事件為準)。對應過去16年(2006-2021年)梅雨季的大豪雨個案，進行劇烈天氣之前兆環境的比對診斷，嘗試釐清可能肇致強降雨之關鍵氣象參數的量化特徵與變化脈動。

選取坡地災害事件包含有土石流、崩塌、地滑、洪水、沖蝕。統計分析結果顯示(李等, 2010；蔡等, 2016；林與洪, 2019)，坡地災害肇生次數有減少趨勢，前8年的肇生事件數，佔總數的73.4 %；坡地災害事件肇生個數以2009年最多(共127件)，2020年最少(共

3件)，肇因均與颱風有關，年際分布並無規律變化的特徵(如圖1)。最容易肇生的地區分別有新北市、宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣；其中，高屏兩地合佔總數的26.4%最多。另一方面，最常發生的時段落在6-10月，暖季合佔總數的93.0%最多(圖2)，對應颱風與梅雨鋒面等天氣系統影響，與原先預期相當吻合(Chang et.al., 2018; Huang et.al., 2019)。然而，我們更關心當有坡地災害事件發生之際，當時的天氣系統以及所對應的環境特徵。結果顯示，主要可分為5大類型(圖3)，分述如下：

- 2.1.1 第1種類型：颱風、熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流，共計395件，佔總數的75.0%。
- 2.1.2 第2種類型：梅雨鋒面，共計85件，佔總數的16.1%。
- 2.1.3 第3種類型：非梅雨鋒面的鋒面，以及午後雷陣雨，共計24件。
- 2.1.4 第4種類型：東北季風，以及東北季風與南方低壓系統所結合的共伴環流，共計14件。
- 2.1.5 第5種類型：地震，共計9件。

其中，第1種類型加上第2種類型就佔總數的91.1%，顯見颱風(以及熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流)與梅雨鋒面對我坡地災害事件的肇生，扮演非常關鍵的角色。然而，就天氣系統的綜觀環境條件來看，無論是在空間尺度或是時間尺度上，颱風的可預報度顯然高於梅雨鋒面(颱風的空間尺度在數百至千公里，時間尺度在數天)，且根據過去研究顯示，梅雨鋒面常伴隨有組織性的中小尺度對流天氣系統(Wang, 2004)，常易肇致短延時強降雨的實際案例。爰此，本研究將先針對梅雨鋒面肇致坡地災害事件進行個案研究，主要運用氣候統計及診斷分析等研究方法，後續再視研究需求，將颱風或其它肇因個案納入。

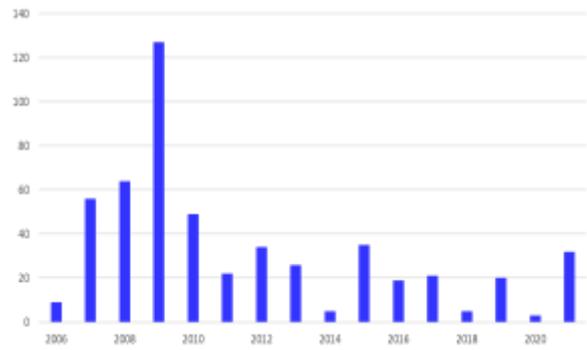


圖1 2006-2021年期間，逐年坡地災害事件肇生次數統計

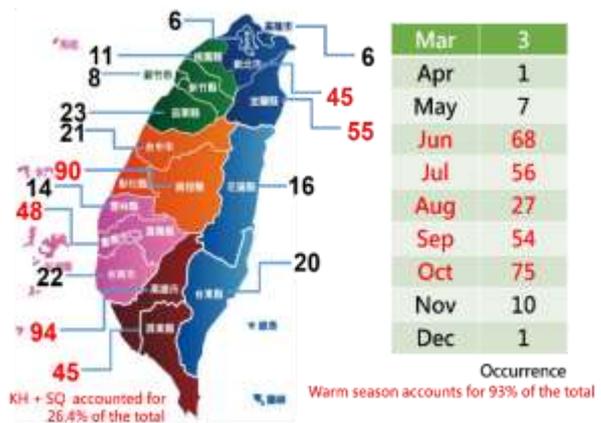


圖2 2006-2021年期間，坡地災害事件肇生的時空分布統計

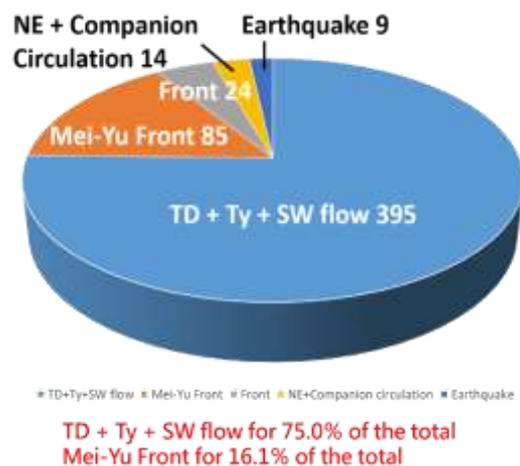


圖3 2006-2021年期間，坡地災害事件肇因的統計分析

## 2.2 研究內容

使用有經過MB色調強化及校正的紅外線衛星雲圖(因資料來源限制, 2003年5月22日以前用GMS-5地球同步衛星資料, 5月22日以後, 則選用GOES-9紅外線衛星雲圖取代, 2006年後則使用MTSAT衛星資料, 2015年後改用向日葵氣象衛星資料), 每張雲圖時間間隔為一小時, 選取範圍涵蓋大陸華南地區、海南島、南海、臺灣海峽及臺灣地區(即18-30°N, 108-122°E), 透過雲圖中雲頂溫度及其所涵蓋的雲系面積, 進一步來分析梅雨鋒面的時空分布及發展演變過程。

NCEP/DOE (National Centers for Environmental Prediction / Department of Energy) Reanalysis-I 經緯度網格分析場資料, 水平經緯度網格解析度為 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ , 每日計有四次(分別為0000、0600、1200及1800 UTC)之1000 hPa、975 hPa、950 hPa、925 hPa、900 hPa、850 hPa、800 hPa、750 hPa、700 hPa、650 hPa、600 hPa、550 hPa、500 hPa、450 hPa、400 hPa、350 hPa、300 hPa、250 hPa、200 hPa、150 hPa、100 hPa、70 hPa、50 hPa、30 hPa、20 hPa、10 hPa 等26層網格資料, 針對選取個案, 進行前6、12及24小時的不同氣象量場診斷; 其中包含重力位高度、渦度、風向、風速、溫度、氣壓、降水、平均氣流、水氣通量、輻合、輻散以及位溫等氣象參數。也利用中央氣象局官方網頁、國家災害防救科技中心的 WATCH 網頁、中央氣象局劇烈天氣監測系統 QPESUMS (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)等, 進行氣象量場診斷分析以及各崩塌個案降雨兩型、特徵以及強度的評估參考資料; 統計彙整在坡地災害事件肇生前, 梅雨鋒面之綜觀環境條件的特徵以及氣象量場分布的特性, 再透過現地探勘校驗作業, 與實際雨量站的觀測數值進行分析比對, 俾利完成預報檢查表項目的挑選釐定。

根據氣候統計資料來看, 梅雨季臺灣地區所肇生的大豪雨事件中, 平均梅雨季一年會有1.09次超大豪雨事件發生, 而每次的大豪雨事件平均可維持在1.58天或以上。研究針對過去16年梅雨季, 導致臺灣局部地區降雨分布範圍最廣、降雨量最豐, 且降雨延時最久的超大豪雨個案中, 選取2006年6月8至11日間伴隨梅雨鋒面的組織性中尺度對流系統(Mesoscale convective system, MCS)個案進行診斷分析, 該個案單6月9日的累積降雨量就高達718 mm, 期間共有89個站達到超大豪雨標準, 也使得劇烈豪大雨事件為臺灣中南部地區帶來嚴重的災情, 最後衍生南投及高雄等處的坡地災害。

6月9日至10日期間臺灣地區有一梅雨滯留鋒面移入, 鋒面結構發展完整, 此滯留鋒面除提供MCS有利的發展條件, 另位於南海地區持續生成及發展的對流雲系受到西南氣流導引, 不僅將旺盛對流系統帶移至臺灣地區, 同時亦將暖溼空氣持續往臺灣地區傳送, 此為造成中南部地區豪大雨天氣主要的因素之一。而在這樣的大氣環境條件下, 除受旺盛對流雲系移入臺灣地區所造成的降水外, 中央山脈地形舉升效應, 也是激發臺灣中南部地區對流降水的另一個重要因素。

由於在南海和臺灣之間, 不斷有中尺度對流雲簇發展, 並多呈胞狀, 向東北移動影響臺灣中南部地區, 造成臺灣地區豪大雨的發生。圖4為6月8日2000 LST海峽南部區域(116-120°E; 20-24°N)平均位溫( $\theta$ )與相當位溫( $\theta_e$ )的垂直分布, 圖中顯示, 近地面層的 $\theta_e$ 高達360 K, 並隨高度迅速遞減, 至700 hPa時約略降至330 K, 但 $\theta$ 仍隨高度增加, 顯示在700 hPa以下為一條件性不穩定大氣, 由於低層 $\theta_e$ 值明顯偏高, 亦顯示出低層大氣具有暖溼的特性。另外由同一時間馬公探空曲線分布(圖5)顯示, 當時大氣的對流可用位能(CAPE)達 $1779 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 其值甚大, 且低層亦

有 35 kts 的西南噴流。透過上述分析，我們發現事實上在 6 月 8 日 2000 LST，海峽南部地區已存在提供對流發展的有利條件。

由 925 hPa 水氣通量輻散場位於 23°N 的經度—時間分布(圖 6)可以發現，自 6 月 8 日 0800 LST 至 10 日 2000 LST 期間有 2 波(圖中黑色虛線)較強的水氣通量輻合移入臺灣中南部地區(約位於 120°E)，第一波為 6 月 8 日 2000 LST 自海峽移入，並於 6 月 9 日 0800 LST 達到 120°E 時增強，通過移出後減弱。第二波緊接著第一波之後，於 6 月 9 日 1400 LST 在海峽有最強之水氣輻合，但在移入過程中略有減弱，這一波在 6 月 10 日 0800 LST 達到 120°E，移出後於 123°E 又再度增強。在 6 月 10 日 2000 LST 之後，臺灣地區僅有較弱的水氣輻合量存在，而由雲圖及降雨量亦可以發現，在這個時間之後，主要的雲雨區均已明顯移出臺灣東部外海一帶，因此臺灣地區降雨現象明顯轉為緩和。

個案中，6 月 8 日鋒面位於臺灣北部外海，9 日至 10 日逐漸南移至臺灣本島中南部一帶，由於太平洋高壓勢力在個案末期逐漸東退，致使鋒面系統持續向東南移出(圖 7)。

從圖 8 垂直大氣環境條件上時間序列的分布差異來看，無論從馬公探空站或屏東探空站均顯示：個案暖平流現象均相當顯著、維持時間長、冷空氣於 700 至 500 hPa 間、低對流層屬潛在不穩定的環境，最大相當位溫梯度以及水氣梯度均分布於 700 hPa 以下、無論是 LLJ 或 ULJ(高層噴流)均相當顯著，且於對流發展階段，中對流層相當乾燥。此一結果，與 Chen et.al. (2008) 研究相當一致。9 日及 10 日高層槽線明顯落後低層槽線(圖 9)，槽線移動緩慢但較深，槽線底部向南延伸至華南一帶；由 500 hPa 高度槽及溫度槽分布(圖 10)顯示，溫度槽明顯落後高度槽。綜合評估，個案系統垂直分布具有顯著之斜壓特徵，溫度槽落後高度槽，系統有良好之垂直偶合特性，對

於鋒面及其伴隨之 MCS 發展及維持提供有利的環境條件。

圖 11 顯示，2006 年環境場存在一鋒面系統滯留於臺灣地區，該鋒面位置略為偏南，中高層槽線均落後地面鋒面位置，具有明顯之發展中斜壓系統特性，且中層槽線發展深厚，地面系統位於 500 hPa 槽前之正渦度區內，且高層亦有一輻散場存在，且高層噴流之動力機制相當顯著，高低層系統垂直偶合良好(斜壓性較好)，低層輻合條件仍為個案中 MCS 發生之主要激發機制，環境之西南噴流同樣為鋒面帶上 MCS 發展帶來暖濕空氣，使得鋒面帶上之 MCS 得以不斷的生成發展(周等，2000；洪等，2006)。

緯度—時間的落雷頻率分布圖顯示，自 12 日至 16 日止，共出現四波時間及空間尺度較大之對流系統。第一波在 12 日 0800 LST 前後，此波對流自 24.2°N，120.1°E 附近隨時間往東南方移動，另一波緊接其後出現，其範圍約涵蓋 24.2-24.6°N，120.5-120.6°E 之間，位置上並無顯著變化；第三波開始於 12 日 1800 LST 左右，自 24.7°N、120°E 逐漸隨時間向北移動；最後一波深對流系統出現於 14 日 2000 LST，位置並未隨時間產生明顯變化，空間分布於 24.1-24.4°N、120.5-120.9°E 之範圍內。由此可見，個案鋒面上所發展出來之對流系統除了上述四波外，在空間尺度上呈現較小的特徵，時間持續也不久。

配合經度—時間的落雷頻率圖(圖 12)分析後可發現：自 6 月 9 日 1100 LST 起，一直到 11 日 0800 LST 止，在 22-24°N、118-121°E 範圍內出現空間尺度及時間尺度兼具的深對流系統，並伴隨有高頻率的落雷反應，且自 10 日 0000 LST 起，此深對流系統有顯著向東南移動的情形，此種落雷的變化正與前述雷達資料的分析一致。

自 6 月 9 日臺灣海峽中南部之對流雲帶就持續移入臺灣中南部地區(圖 13)，造成該區域

出現超大豪雨現象，直至隔日0100 LST降雨才稍緩；然隨後在海峽南部地區又激發出另一波對流系統，並移入臺灣地區。10日上午，此帶狀對流區域逐漸往巴士海峽移動，臺灣地區降雨強度減弱，大範圍雨區仍涵蓋全臺各地。

整體而言，就降水特徵來看，個案主要降雨區域在於中部及南部山區，其中在中部及高屏地區降水最大處多集中在山區，在嘉南地區降水山區則大於平地，最大降雨區亦出現於屏東山區，最大日降雨量為718 mm，對流運動於滯留後南移並減弱，對流程度亦屬劇烈型降雨，持續時間較短(3天)，但降雨過程較為連續，日夜變化較不顯著。

劇烈降雨前，反應在環境量場以及系統本身的變化與趨勢，均存在有顯著的關鍵訊號。根據上述診斷量場分析，完成臺灣地區梅雨鋒面劇烈降雨檢查表(圖14)，並透過本研究個案進行校驗分析，滾動式修正，嘗試找到關鍵的有效閾值。研究也發現，當滿足8項或以上的項數個案，肇致豪大雨現象機會相對提高，所對應的坡地災害肇生機率也相對增加。參考Wilks(2011)技術得分計算，為評估綜觀環境條件各檢查滿足項目對於預報災區強降雨的預兆得分(Threat Score, TS)，設定觀測雨量門檻值，且設定目標災區中有任一測站達強降雨標準，即視為滿足強降雨發生。將各項目檢查預報結果與實際觀測資料分別進行比對，利用誤差矩陣判斷各次評估之準確率，誤差矩陣可分為4種情境，分別為(1)滿足，有預測/有發生(hits)、(2)滿足，有預測/無

發生(misses)、(3)無滿足，無預測/有發生(false alarms)及(4)無滿足，無預測/無發生(no events)。故可利用其分類結果，進一步計算可偵測率(Probability of Detection, POD)、誤報率(False Alarm Ratio, FAR)以及預兆得分(Threat Score, TS)等三種評估指標，藉以掌握可靠性較高且滿足坡地災害事件肇生的綜觀環境條件關鍵因子，可適時回饋於災區強降雨發生與否的預報決策參考。

從整體分析結果來看(圖15)，在坡地災害案例發生前6小時、前12小時及前24小時的TS值，分別為0.65、0.58及0.51，顯示就整體統計分析來看，TS愈接近1，累積降雨量門檻是具有預報技術能力。偏差得分(Bias Score, BS)分別為1.42、1.42及1.82，當BS大於1，代表有過度預報情事，可以進行適度修正。顯示預報極端劇烈降雨事件時，預報人員對於天氣系統強度的掌握普遍都有高估的趨勢。POD值在坡地災害事件發生前6小時、前12小時及前24小時均為0.96，根據經驗，POD愈高，代表預報技術愈好。FAR值分別為0.33、0.33及0.48，當FAR得分愈低，表示錯誤預報愈少。這也突顯在整個運動及發展過程中，仍存在有相當程度的不確定性。

另一方面，從坡地災害事件發生前6-12小時，無論是在可偵測率、誤報率或是預兆得分上，綜合整體的預報表現成效最佳，是可提供防災應變前置預警整備的重要參考資訊；就防災應變的資料判讀、決策擬定與信心下達而言，此階段的檢查執行效益表現具有相當程度的參考價值。

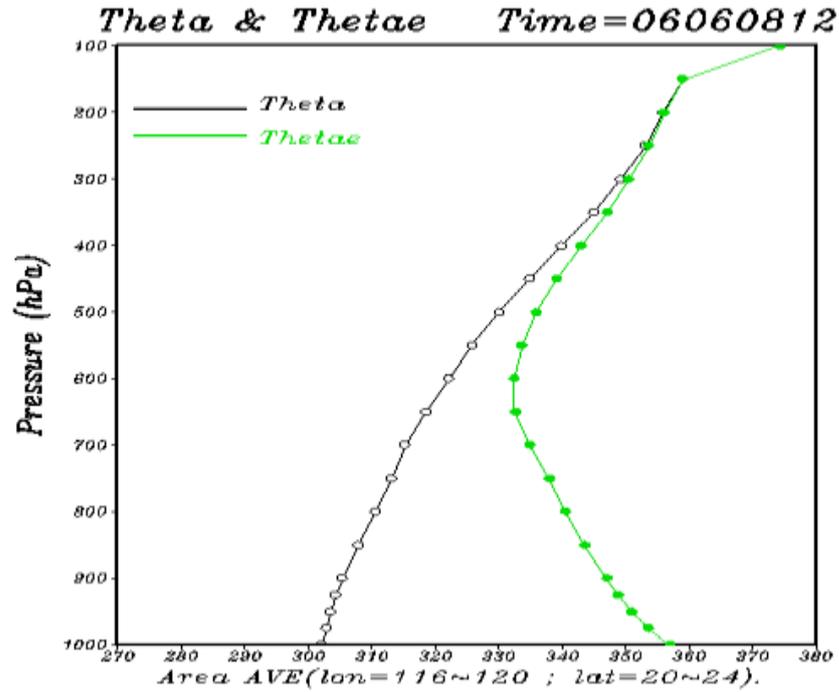


圖 4 2006 年 6 月 8 日 2000 LST 之位溫  $\theta$  與相當位溫  $\theta_e$  分布

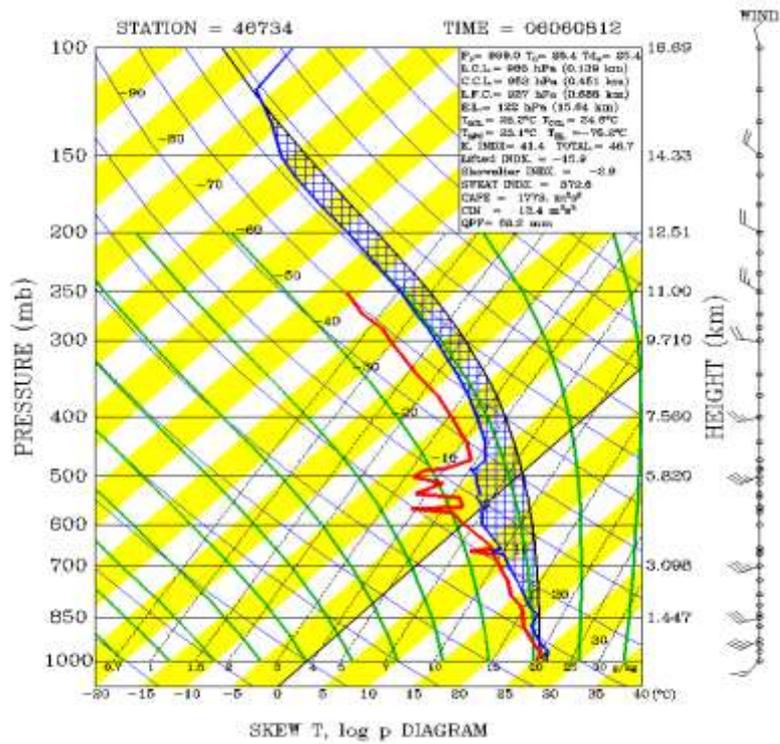


圖 5 2006 年 6 月 8 日 2000 LST 之馬公探空測站斜溫圖

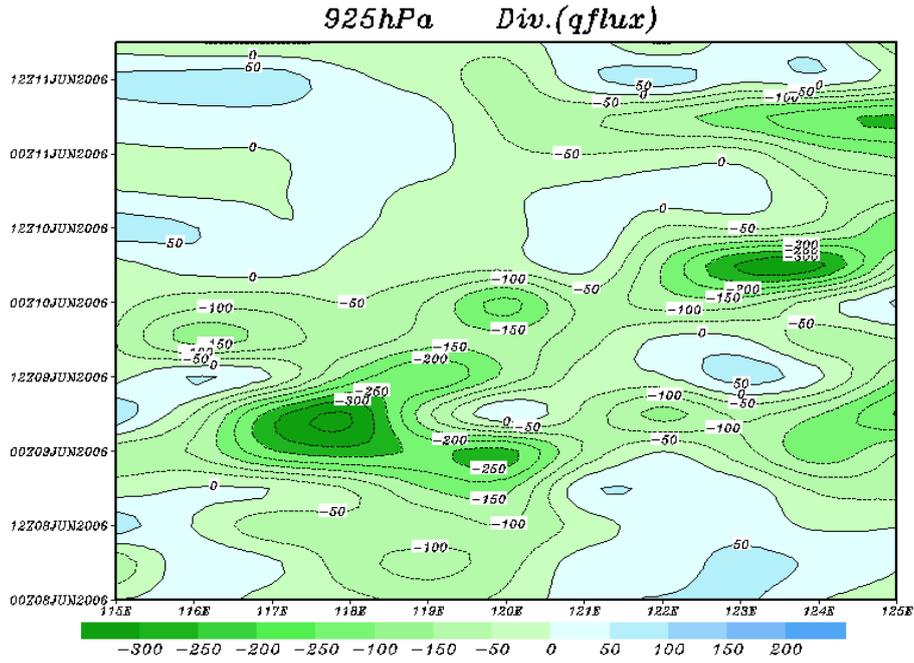


圖 6 2006 年 6 月 8 日 0000 UTC 至 11 日 1800 UTC 23°N 之 925 hPa 水氣輻散通量序列圖

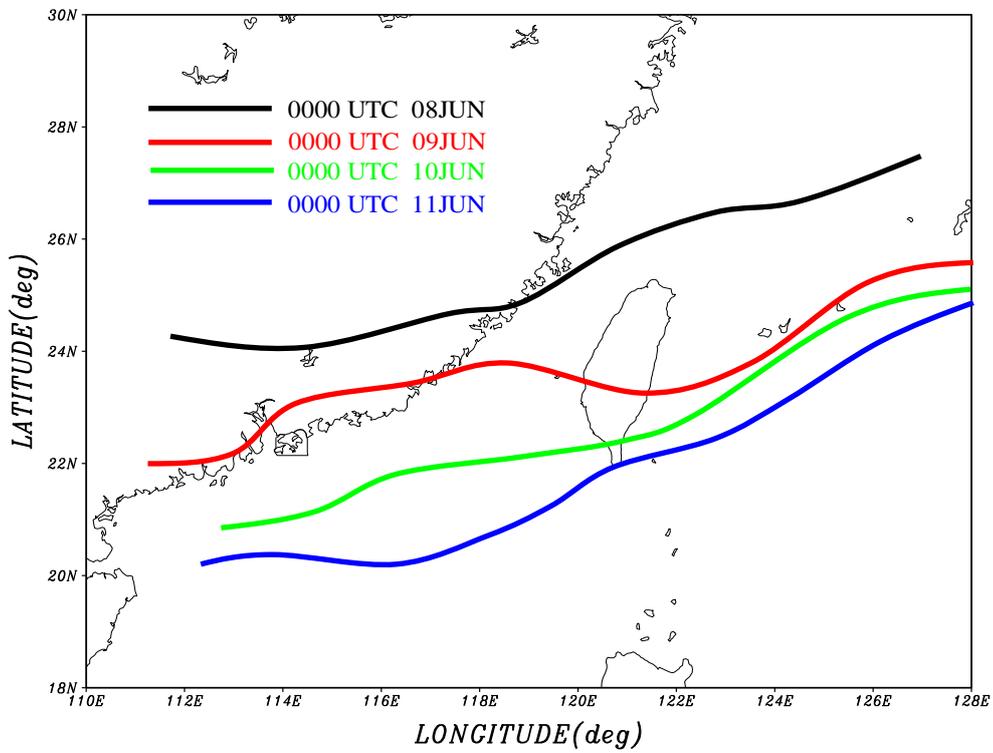


圖 7 2006 年 6 月 8 日至 11 日 0000 UTC 鋒面位置分布

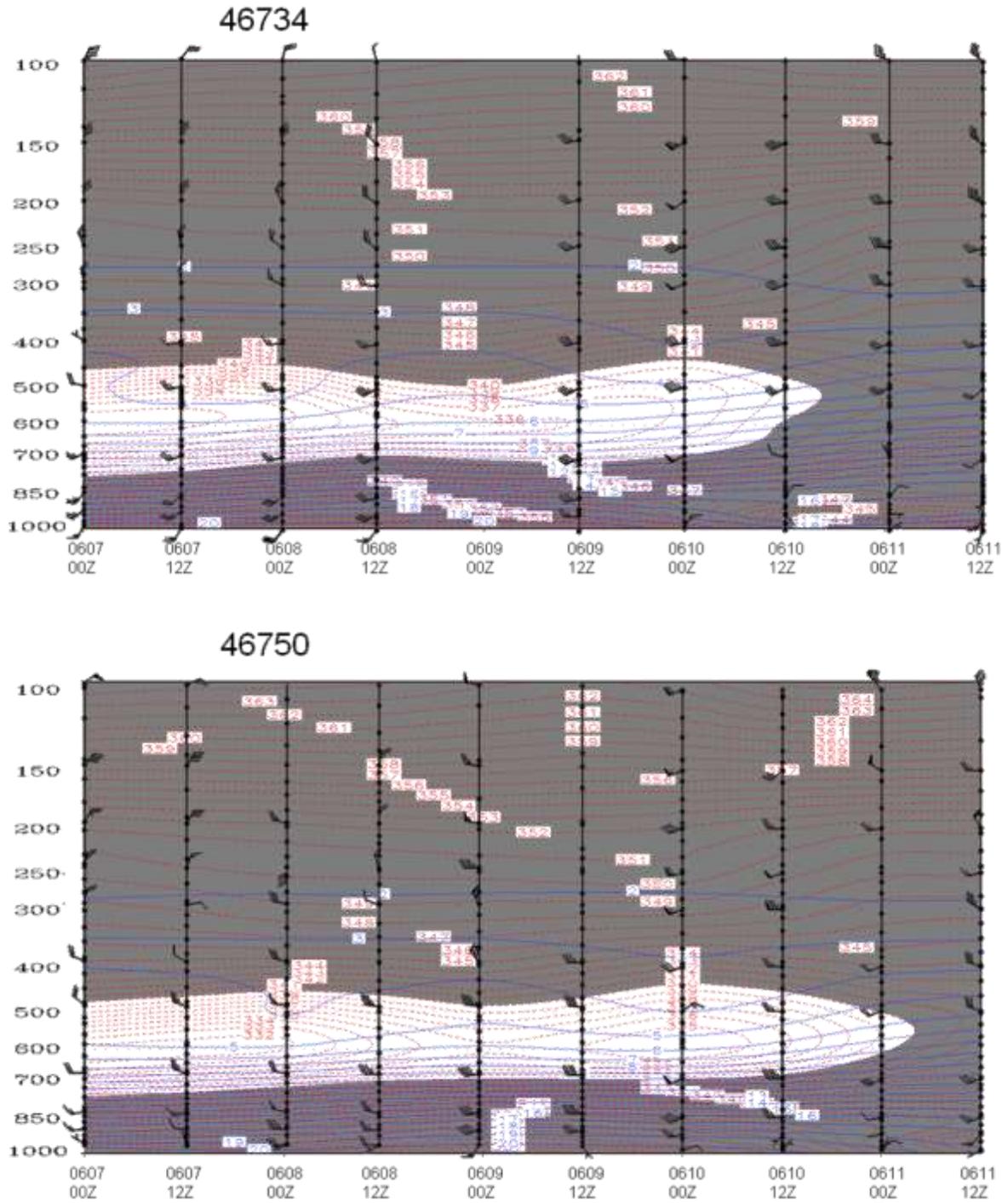


圖8 研究個案之垂直大氣環境的時間序列分布，紅虛線為相當位溫(單位為K)，實藍線為水氣(單位為g/kg)，色階區為相當位溫大於340 K的區域；其中，46734為個案馬公站，46750為個案屏東站資料

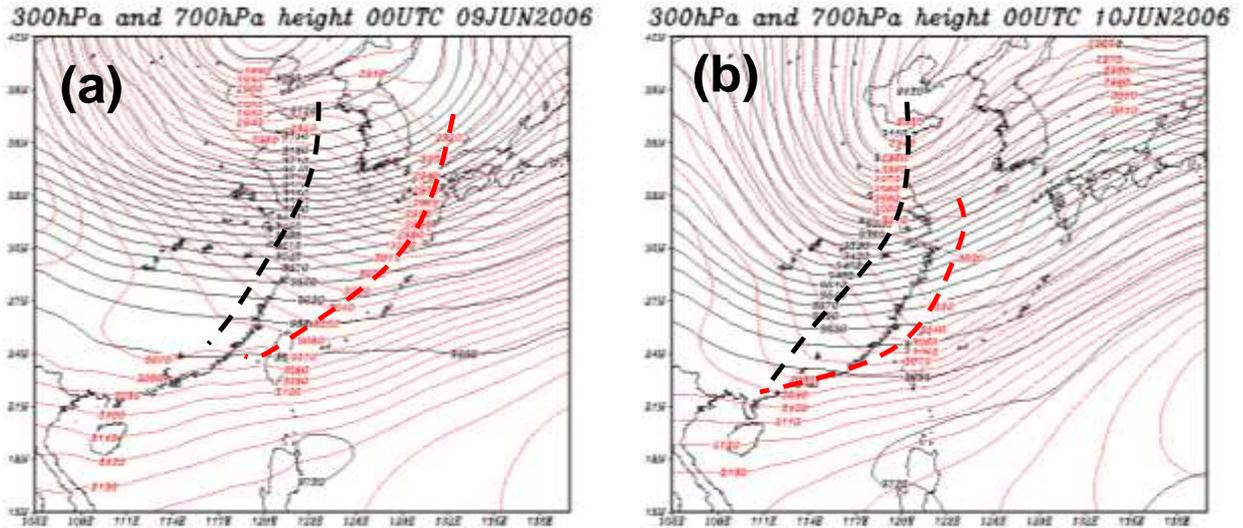


圖9 2006年6月9日及10日0000 UTC低層700 hPa(紅色虛線為槽線)及高層300 hPa(黑色實線為槽線)之高度場分布

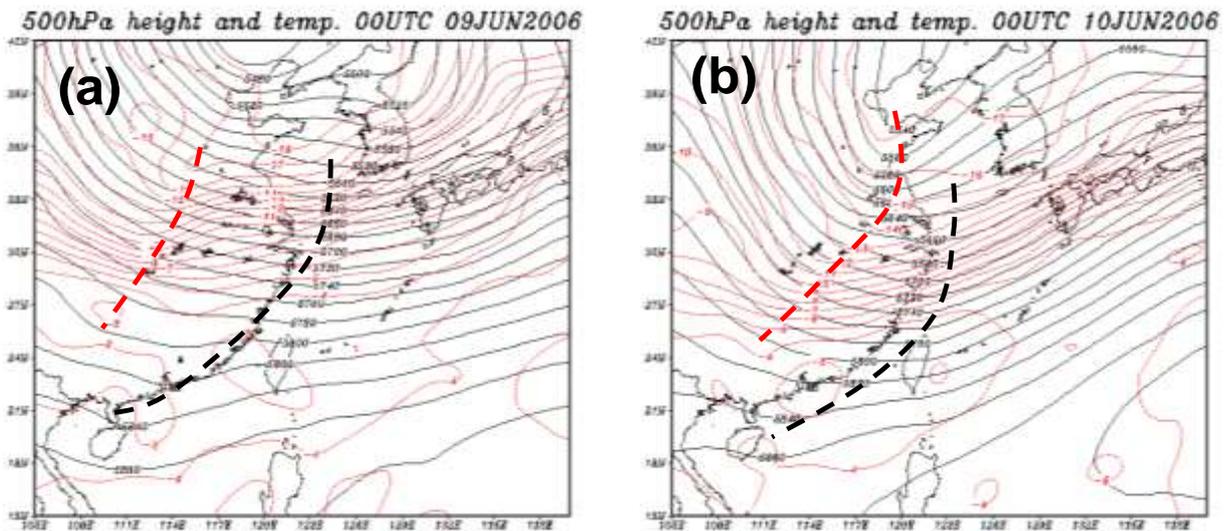


圖10 2006年6月9日及10日0000 UTC 500 hPa高度場(黑色實線為槽線)及溫度槽(紅色虛線為槽線)分布

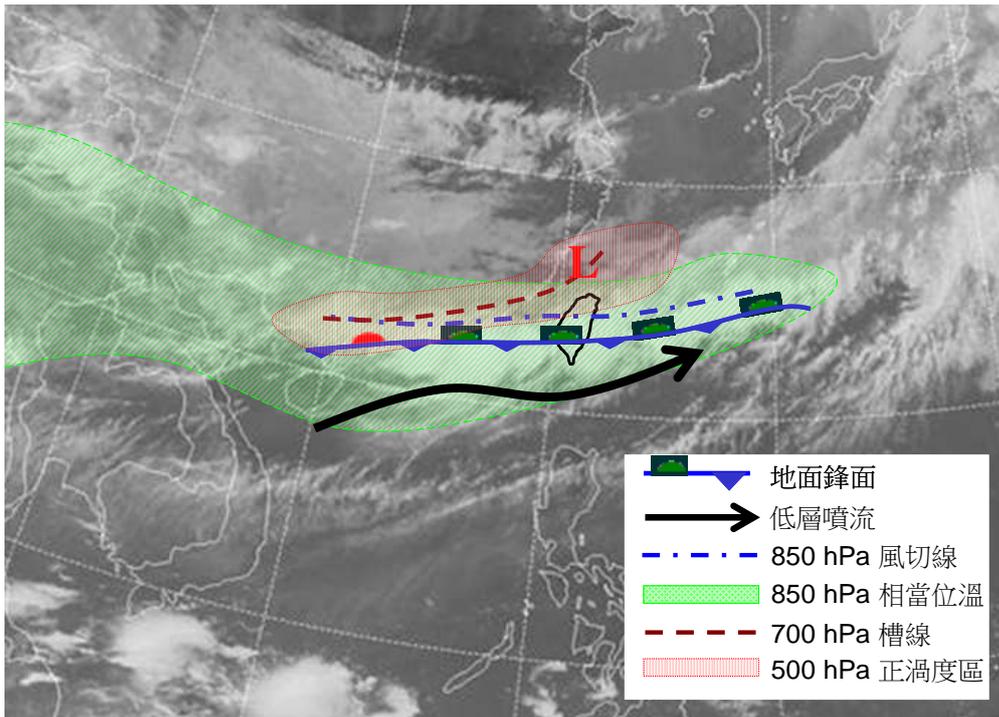


圖11 個案所造成豪大雨事件之綜觀環境示意圖

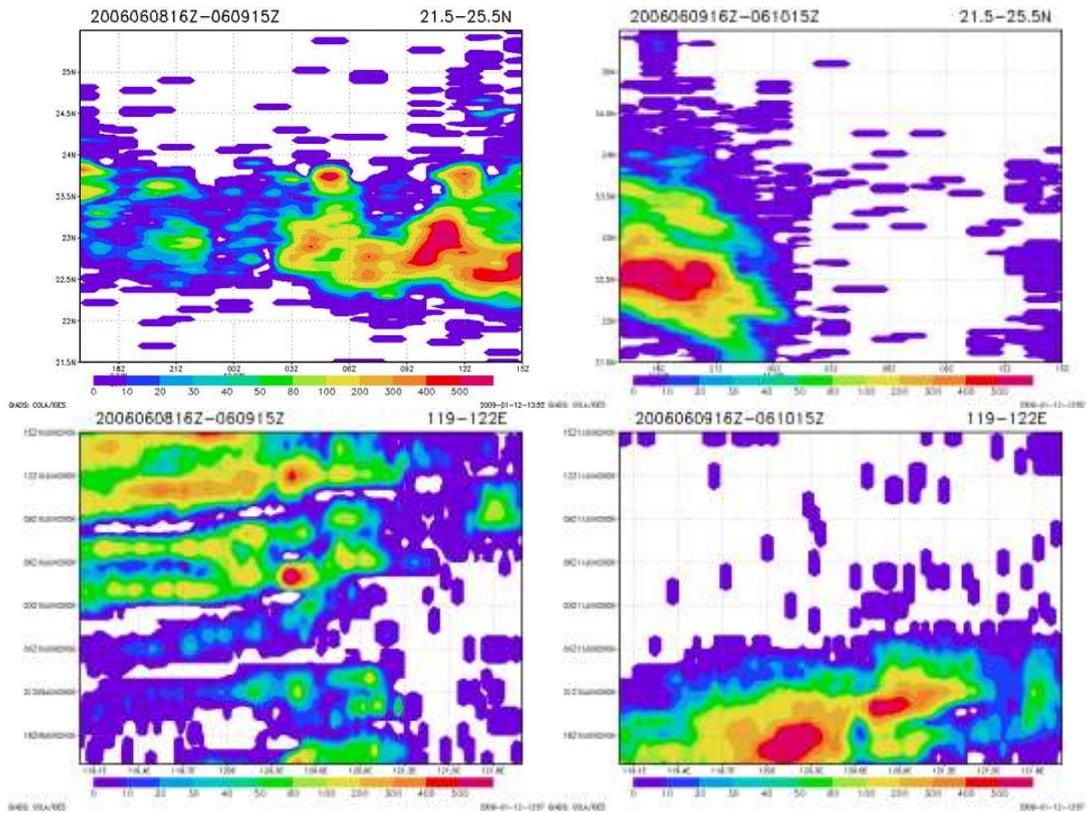


圖12 上列2圖為2006年6月9日至10日，緯度—時間落雷頻率分布圖，下列2圖為經度—時間落雷頻率分布圖

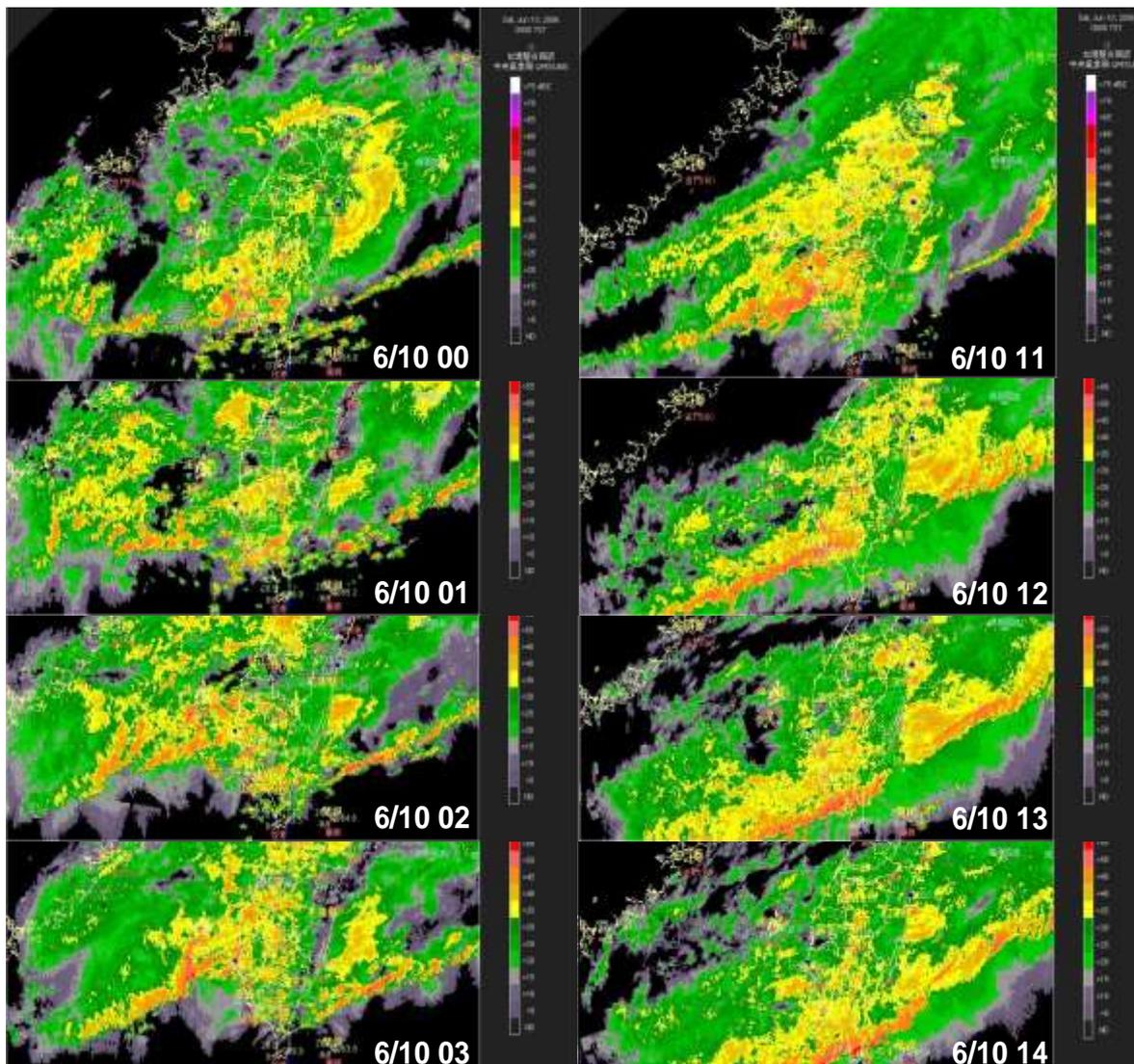


圖13 中央氣象局劇烈天氣監測系統雷達產品顯示研究個案之降水型態的差異

項次	層別	檢查項目	0時	前6小時	前12小時	前24小時	參考文獻
1	低層	鋒面系統在 20-28N <sup>0</sup> 與118-124E <sup>0</sup> 間	●	●	●	●	林·2010
2	低層	22-28N <sup>0</sup> 與114-127E <sup>0</sup> 間·850hPa有無風切線					林等·2008
3	低層	850hpa $\Theta_e$ 主軸指向台灣·且高於340K以上					Chen, 2004
4	低層	850hpa 水氣通量大於 200gkg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>					張·2004
5	低層	850hpa 低層噴流大於25kTs					陳·2007
6	中層	22-28N <sup>0</sup> 與114-127E <sup>0</sup> 間·700hPa有短波槽					Chen, 2004
7	中層	700hPa相對濕度場大於85%					Qian et. al., 2004
8	中層	500hPa渦度場有大於 $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 正渦度					林·2007
9	高層	200hPa 高層噴流大於45kTs					林·2010
10	高層	200hPa 輻散場風場分流角度 > 45°					林·2010

圖14 個案研究彙整所得梅雨鋒面劇烈降雨之環境量場檢查表



圖15 整體技術得分計算結果(分別就坡地災害事件發生前6小時、前12小時及前24小時)

### 3. 結論與建議

研究運用氣候統計及診斷分析等研究方法，針對可能肇致坡地災害之劇烈降雨天氣系統進行量化探討；現階段選取梅雨鋒面個案進行測試，後續視研究需求，再將颱風或其它肇因個案納入。

從歷史坡地災害事件統計結果顯示，坡地災害肇生次數有減少趨勢，年際分布並無規律變化的特徵。最容易肇生的地區分別有新北市、宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、高雄市及屏東縣；其中，高屏兩地合佔總數的26.4 %最多。最常發生的時段落在6-10月，暖季合佔總數的93.0 %最多。當有坡地災害事件發生之際，對應當時的天氣系統以及環境特徵，以颱風、熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流最多；其次是梅雨鋒面。2者累加研究個數，就佔總數的91.1 %，顯見颱風(以及熱帶擾動或颱風過後所引進的西南氣流)及梅雨鋒面對我坡地災害事件的肇生，扮演非常關鍵的角色。

梅雨季臺灣地區所肇生的大豪雨事件中，平均梅雨季一年會有1.09次超大豪雨事件發生，而每次的大豪雨事件平均可維持在1.58天或以上。研究個案中，滯留鋒面結構發展完整，此滯留鋒面除提供中尺度對流系統有利的發展條件，另位於南海地區持續生成及發展的對流雲系受到西南氣流導引，不僅將旺盛對流系統帶移至臺灣地區，同時亦將暖溼空氣持續往臺灣地區傳送，此為造成中南部地區豪大雨天氣主要的因素之一。而在這樣的大氣環境條件下，除受旺盛對流雲系移入臺灣地區所造成的降水外，中央山脈地形舉升效應，也是激發臺灣中南部地區對流降水的另一個重要因素。綜上，環境的風場、水氣場及溫度場對劇烈降雨天氣系統的發展、運動與影響，為關鍵的量場變因。另一方面，透過平衡得分計算，預兆得分相當接近1，顯示累積降雨量門檻是具有預報技術能力。

偏差值明顯大於1，代表預報極端劇烈降雨事件時，預報人員對於天氣系統強度的掌握普遍都有高估的趨勢。再從坡地災害事件發生前6-12小時，無論是在可偵測率、誤報率或是預兆得分上，綜合整體的預報表現成效最佳，可提供防災應變前置預警整備的重要參考資訊。

在坡地災害事件發生前6-12小時，無論是在可偵測率、誤報率或是預兆得分上，綜合整體的預報表現成效最佳，是可提供防災應變前置預警整備的重要參考資訊；就防災應變的資料判讀、決策擬定與決心下達而言，此階段的檢查確認，對於執行效益表現具有相當程度的參考價值。

研究過程中也發現，肇致坡地災害的劇烈降雨個案特徵，不只是降雨量大，且持續時間夠長，水氣供輸相當豐沛，為山區帶來顯著的累積降雨(林，2022)。洪等(2006)也針對2004年梅雨季個案，進行數值模式不同物理參數法組合的敏感度測試，藉此評估模式在東亞地區的預報能力，結果發現選擇不同邊界層參數法對模式預報誤差影響最顯著，不僅影響大氣邊界層內的熱量傳送，同時也和水氣垂直傳送過程有密切的關係。顯見，水氣的多寡以及輻合效應，在其間所扮演的關鍵角色。未來，將可再針對環境水氣通量的診斷以及水氣傳輸的計算，透過數值模擬，進行更為深入的量化分析，藉此釐清劇烈對流降雨行為的可能延時、過程與影響，有助於防災預警整備作業的精進落實。

### 4. 參考文獻

- Chang, M. J., Chang, H. K., Chen, Y. C., Lin, G. F., Chen, P. A., Lai, J. S., Tan, Y. C., 2018 : A support vector machine forecasting model for typhoon flood inundation mapping and early flood warning systems. *Water*, 10(12), 1734.
- Chen, G. T.-J., C. C. Wang and S. W. Chang, 2008: A diagnostic case study of Mei-Yu

- frontogenesis and development of wavelike frontal disturbances in the subtropical environment. *Mon. Wea. Rev.*, 136,41-61.
- Huang, C. C., Fang, H.T., Ho, H.C., Jhong, B.C., 2019 : Interdisciplinary application of numerical and machine-learning-based models to predict half-hourly suspended sediment concentrations during typhoons. *J Hydrol*, 573,661-675
- Wang, J. J., 2004: Evolution and structure of the mesoscale convection and its environment: A case study during the early onset of the southeast Asian summer monsoon. *Mon. Wea.Rev.*,132,1104-1120.
- Wilks, Daniel S., 2011 : Statistical methods in the atmospheric sciences. Elsevier Inc.,8.
- 李鎮洋、賴文基、陳振宇、黃效禹、郭力行，2011，莫拉克颱風複合型災害發生歷程的時空重建—以小林村深層崩塌為例，中華水土保持學報，42-4，313-324。
- 林冠璋、洪瀨，2019，大規模崩塌之促崩降雨分析，地工技術，161，29-36。
- 林得恩，2022，劇烈降雨系統對高山陣地風險評估，氣象預報與分析，250，1-15。
- 周仲島、楊黎明、林得恩、魏志憲，2000，1999年梅雨季豪雨實驗研究—伴隨梅雨鋒面中尺度對流系統之個案初步分析，第二屆國際海洋大氣會議論文彙編，中央氣象局，217-222。
- 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中，2006，WRF 模式之敏感度測試，第一部分：探空測站上的校驗，大氣科學，34,241-260。
- 蔡元融、賴文基、許登傑、謝正倫、黃效禹，2016，潛在大規模崩塌區影響範圍劃設，中華防災學刊，8-2，159-172。

# **Study on the Premonitory Environment of Slope Land Hazards Caused by Mei-Yu Front**

De-En Lin

Center for Weather and Climate Disaster Research, National Taiwan University

## **Abstract**

Faced with the uneven distribution of rainfall in time and space caused by the weather system, and the total cumulative rainfall that often breaks records, slope disasters will be doubly severe tests and challenges in the future. According to the statistics of past slope disaster events, once an event occurs, the losses and disasters caused by it are quite serious.

The main purpose of the research project is to diagnose and analyze historical soil and sand disaster events through scientific and quantitative research and judgment steps, understand the climatic characteristics and environmental conditions of severe rainfall events on the Mei-Yu front, clarify the performance of key meteorological parameters in the environment at that time, and prolong slope disasters. The pre-warning and preparation time for possible accidents can effectively support the determination of the disaster prevention and response commander to carry out disaster alert dispatching.

**Keywords: Mei-Yu Front, soil and sand disaster, meteorology characteristics**