

臺灣地區之閃電躍升與豪大雨降雨關係研究

劉承翰¹ 陳新淦² 林秉煜² 葉明生¹ 鄭安孺¹

多采科技有限公司¹
交通部中央氣象局²

摘 要

強對流雷雨胞的對流發展過程中經常伴隨閃電與降雨的發生，過去已有文獻對於臺灣地區的閃電及降雨進行研究，指出劇烈天氣常伴隨閃電發生，閃電頻率高的地區經常伴隨強烈對流及降雨，所以兩胞閃電躍升現象辨識可作為預測局部區域發生強降雨之指引。過去本研究利用閃電落雷這類型的即時監測資料，由降雨個案結果顯示閃電躍升對於降雨有領先時間，為能應用到臺灣即時劇烈天氣的分析及預報，陸續完成閃電躍升演算法評估，並提出適用於臺灣的演算法和參數，建置即時運算全台網格的測報模組，可即時且穩定顯示每分鐘之前 10 分鐘累積閃電躍升的次數與發生位置。

為期能以閃電躍升對大雨以上之午後對流與對流降雨即時預警，本研究以降雨強度達 6mm/10mins 為降雨門檻，採用 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間氣象局總閃電資料，由各降雨事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘範圍內，分析發生閃電躍升的累計時間與領先時間，在午後對流降雨事件之中，領先時間為 0-10 分鐘的比例為 37.5%，比鋒面降雨事件的 22.8% 多出 14.7%。建議配合不同天氣系統個案分析，持續探討閃電活動對降雨領先時間與降雨強度之關係，以期可作為豪大雨可能發生的參考指標。

關鍵字：臺灣地區閃電、閃電躍升、降雨

一、前言

強對流雷雨胞的對流發展過程中經常伴隨閃電與降水的發生，雷雨胞活躍期間的閃電活動會快速增加，於總閃電率達峰值前，閃電次數通常會呈現急遽增加的現象，此現象稱為閃電躍升(Lightning jump)(Williams et al. 1999)，如圖 1 所示。

在國外研究中，Williams et al. (1999)針對發生於 1996 至 1998 年美國佛羅里達地區的劇烈雷暴(伴隨劇烈天氣之雷暴)事件個案，統計 LDAR (Lightning Detection and Ranging)系統所偵測到的總閃電行為，發現劇烈雷雨事件的總閃電率皆超越 60 fpm (flashes/min；每分鐘的閃電次數)，而非劇烈雷雨的總閃電率多為介於 1 到 10 fpm，此外，總閃電率峰值出現的時間相較於地面觀測到的劇烈天氣事件約有 5~20 分鐘的領先。Goodman et al. (2005)研究結果顯示在夏季強對流的觀測案例中，總閃電率峰值可達到 300 fpm，且總閃電率快速增加的現象較地面觀測到的強風早約 9 分鐘。在龍捲風超級胞(tornadic supercell)的案例中，當總閃電率峰值達 70~100 fpm，且暴風雨增強時，雲中閃電(Intra-Cloud lightning, IC)峰值相較於地面觀測到龍捲風觸地的時間會領先至少 20~25 分鐘，而雲對地閃電(Cloud-to-Ground lightning, CG)峰值領先約 15~20 分鐘。

國內外陸續提出客觀和定量的閃電躍升演算法，

應用於不同天氣(包括冰雹、地面強風、龍捲風、強瞬時降雨與對流性降雨等)預警。Gatlin (2006)為了確定及量化閃電躍升趨勢，提出總閃電率隨時間變化率(the time-rate of change of the total flash rate, DFRDT)的演算法，統計 2002~2003 年春季 20 場暴雨的 DFRDT 值，約有 84%的 DFRDT 平均變化落於一個標準差範圍內。Gatlin and Goodman (2010)針對美國阿拉巴馬州發生於 2002~2003 年春季的 20 場雷雨事件，此研究成果指出閃電躍升可作為作業上診斷劇烈天氣的有效指標。Schultz et al. (2009)研究 2002~2008 年田納西谷和華盛頓特區的 85 場雷雨個案，得到的閃電躍升較地面劇烈天氣發生平均領先時間約為 23 分鐘。國內亦有應用閃電偵測資料分析頻率分布與降水間關係的相關研究。洪(2002)利用雲對地閃電(CG)分析 1999 年 8 月 27 至 29 日連續三日發生於臺灣北部山區之午後對流個案與雷達回波的關係。且閃電頻率增加時，閃電發生位置的垂直液態水含量多大於 15 kg/m²，垂直液態水含量對於閃電頻率亦有較好的相關。又林等(2006)認為，閃電密度及頻率高的地區經常伴隨強烈對流及降水，且大部份的閃電發生在較強降水區，但傾向於偏向降雨中心的前緣，閃電與降雨兩者在空間及時間上的分佈相似。

戴等(2015)利用台電公司全閃電偵測系統的 IC 資料，探討午後雷暴、移動性雹暴及颱風雨帶環境下的移動性雷暴三種不同型態雷暴系統個案，發現 IC

的躍升對三種不同型態雷暴系統之降雨領先時間分別約有 15~40 分鐘。戴等(2017) 使用台電公司全閃電偵測系統的雲中閃電資料，建議 IC 數量平均值加 2 倍標準差為最佳之 IC 躍升門檻，並顯示 IC 躍升對於臺灣對流性降雨有預警應用價值。葉等(2017)使用臺灣電力公司與中央氣象局建置的閃電偵測系統所得觀測資料，再由前人所提出的各種閃電躍升演算法，探討適用臺灣地區閃電躍升演算法與參數。

由於 Gatlin (2006)、Schultz et al. (2009)、Gatlin and Goodman (2010)提出不同的閃電躍升演算法，為客觀量化與判斷閃電急遽增加的程度，定義當 $f'_w(t)$ 超過門檻值 $f'_{thres}(t)$ ，則發生閃電躍升。上述演算法是建立在總閃電率 $[f(t)]$ 為基礎而推展出不同的判定邏輯與門檻設定。而為減少因小幅的總閃電率波動而被判定為閃電躍升之情形發生，Gatlin (2006)建議將前數分鐘(包含計算時刻)的總閃電率取權重移動平均進行計算(式(1))，並可強調距計算時刻較近之總閃電率 $[f_w(t)]$ 。此方法可調整的參數為取權重移動平均的時間長度。Gatlin (2006)演算法為採用包含計算時刻之前 N 筆 $f'_w(t)$ [表示 $f_w(t)$ 隨時間的變化率] 數列，並定義門檻值為 $f'_w(t)$ 數列的標準偏差與前一時刻門檻值取平均，算式如下所示。

總閃電率移動加權平均為：

$$f_w(t) = \frac{1}{N} \sum_{\tau=0}^{N-1} w(t - \tau \cdot \Delta t) f(t - \tau \cdot \Delta t) \quad (1)$$

$$\text{其中：} w(t - \tau \cdot \Delta t) = \frac{N - \tau}{N}$$

依式(1)類推可計算其他時段的總閃電率權重移動平均，進而求得 $f_w(t)$ 隨時間的變化率(DFRDT)：

$$f'_w(t) = \frac{d}{dt} f_w(t) \approx \frac{f_w(t) - f_w(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

閃電躍升門檻值 $f'_{thres}(t)$ 為：

$$f'_{thres}(t) = \frac{\sigma[f'_w(t)] + f'_{thres}(t - \Delta t)}{2} \quad (3)$$

本研究於上述 Gatlin (2006)演算法，為避免因偵測到少數閃電而判斷為閃電躍升，亦加入 Schultz et al. (2009)提出總閃電率門檻 $[f_{thres}(t)]$ 。

因此，本文挑選午後對流與鋒面天氣系統的降雨事件，採用氣象局總閃電資料，初步以 Gatlin (2006)閃電躍升演算法，探討閃電躍升對降雨強度達 6mm/10mins 之領先時間，以及發生閃電躍升累計時間對應 10 分鐘降雨強度達 6mm/10mins 之關係，作為未來發展臺灣地區豪大雨預警的參考。

二、閃電與降雨資料

臺灣現有兩種閃電落雷偵測系統，分別為台電公司整合型閃電偵測系統及中央氣象局閃電偵測系統。

本研究採用氣象局閃電資料進行分析，中央氣象局閃電偵測系統(Central Weather Bureau Lightning Detection System, CWBLDS)，為氣象局於 2015 年 4 月開始於臺灣地區 10 個氣象站建置閃電偵測系統，於 2016 年 8 月另於 5 個站點(鞍部、鶯子嶺、七股、臺東、墾丁)增設儀器，其中 10 座位於臺灣本島內，5 座位於外島地區(圖 2)。使用儀器為 TOA 公司(TOA Systems, Inc.)的閃電偵測設備，儀器感應敏感的波段主要是位於低頻的電磁波，因此其閃電偵測類型主要是雲對地閃電觀測。CWBLDS 主要使用到達時間差法(Time Difference of Arrival, TDOA)定位閃電來源。本研究採用 CWBLDS 於 2015 年 5 月至 2017 年 4 月之閃電資料。

由於期望能由閃電躍升探討領先時間，以對大雨以上之降雨即時預警，因大雨等級的定義為時雨量達 40mm 以上或 24 小時累積雨量達 80mm 以上，前者條件換算約 $\geq 6\text{mm}/10\text{mins}$ 。所以本研究採用「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件。

降雨事件開始與結束是以「前後 3 小時該測站無降雨」作判斷。而降雨事件的天氣系統分類，是依據豪大雨天氣特報中說明受到哪種天氣系統影響而可能導致大雨發生。根據降雨事件發生時段，比對該時段中的豪大雨特報中所記錄的天氣系統，以分類降雨事件。依據豪大雨天氣特報，於 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間全臺人工站「降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流和鋒面降雨事件場次，分別為 288 與 189 場次，共 477 場次。

三、分析結果

本研究為探討閃電活動與降雨之間領先時間，以與降雨強度關係，將分析：1.評估閃電躍升對「10 分鐘降雨強度達 6mm/10mins」之領先時間範圍。2.閃電躍升累積時間對應降雨強度之關係探討。

為能分析閃電躍升對於降雨強度達 6mm/10mins 之領先時間，首先以 Gatlin (2006)閃電躍升演算法，計算上述降雨事件之閃電躍升，再擷取出各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘內，有發生閃電躍升時間，如圖 3 所示。

而圖 4 為各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘內發生閃電躍升的累計時間，最高為累計有 25 分鐘發生閃電躍升，為午後對流降雨事件發生 2016 年 06 月 28 日 13:40 至 14:40 於板橋測站。

進一步將圖 4 資料區分不同的發生閃電躍升累計時間組距，扣除在沒有閃電躍升，前 60 分鐘內發生閃電躍升的累計時間，以發生 1-5 分鐘的比例約為 25.4%(圖 5(a))；於午後對流降雨事件中，發生 6-10 分鐘的比例為 13.2%(圖 5(b))，而在鋒面降雨事件較少，約 5.8%(圖 5(C))。

為了探討閃電躍升與降雨之間領先時間，初步以各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 時間往前 60 分鐘範圍，挑選出最近發生閃電躍升時間(如圖 6 所示)，分析對第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 的領先時間(如圖 7 所示)。比較午後對流降雨事件與鋒面降雨事件的領先時間，於午後對流降雨事件中，領先時間 0-10 分鐘的比例為 37.5%，(圖 7(b))，比鋒面降雨事件的 22.8%(圖 7(C))多出 14.7%。惟於領先時間 11-40 分鐘，午後對流降雨事件與鋒面降雨事件之比例相近，分別為 12.9%與 11.1%。

而閃電躍升累積時間對應降雨強度之散佈圖，如圖 8 所示，不管是午後對流降雨事件(圖 8(b))或鋒面降雨事件(圖 8(c))，初步看來，各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之降雨強度與前 60 分鐘內之發生閃電躍升累計時間之關係並不明顯，建議可再配合個案分析。

四、結論與建議

本研究以降雨強度達 6mm/10mins 為降雨門檻，採用 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間氣象局總閃電資料，由各降雨事件，於第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘範圍內，分析發生閃電躍升的累計時間與領先時間。在午後對流降雨事件中，領先時間 0-10 分鐘的比例為 37.5%，比鋒面降雨事件的 22.8%多出 14.7%。建議後續可再配合不同天氣系統個案分析，持續探討閃電活動、降雨領先時間與降雨強度之關係，期望可作為豪大雨可能發生的參考指標。

五、參考文獻

- 林品芳、張保亮、丘台光、陳嘉榮，2006：閃電資料在降水估計之初步分析，天氣分析與預報研討會。
- 洪景山，2002：雲對地閃電和雷達回波參數之相關：個案研究。大氣科學，30，1，21-34。
- 戴志輝、王尹懋、王安翔、林博雄，2015：雲中閃電資料應用於雷暴即時預警之研究。大氣科學，43，2，115-132。
- 戴志輝、王尹懋、楊明仁、林博雄，2017：雲中閃電預警對流性降雨初探。大氣科學，45，1，43-55。
- 葉明生、張博雄、陳新淦、李天浩、于芃，2017：適用於台灣地區降雨預警之閃電躍升演算法探討，大氣科學，45，4，349-374。
- Gatlin, P. N., 2006: Severe weather precursors in the lightning activity of Tennessee Valley thunderstorms. M.S. thesis, The University of Alabama in Huntsville, 87 pp.
- Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. J. Atmos. Oceanic Technol., 27, 3–22.
- Goodman, S. J., R. Blakeslee, H. Christian, W. Koshak, J. Bailey, J. Hall, E. McCaul, D. Buechler, C. Darden, J.

Burks, T. Bradshaw, and P. Gatlin, 2005: The North Alabama Lightning Mapping Array: Recent severe storm observations and future prospects. Atmos. Res., 76, 423–437.

Schultz, C. J., W. A. Petersen, and L. D. Carey, 2009: Preliminary development and evaluation of lightning jump algorithms for the real-time detection of severe weather. J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 2543-2563.

Williams, E.R., B. Boldi, A. Matlin, M. Weber, S. Hodanish, D. Sharp, S. Goodman, R. Raghavan, and D. Buechler, 1999: The behavior of total lightning activity in severe Florida thunderstorms. Atmos. Res., 51, 245–265.

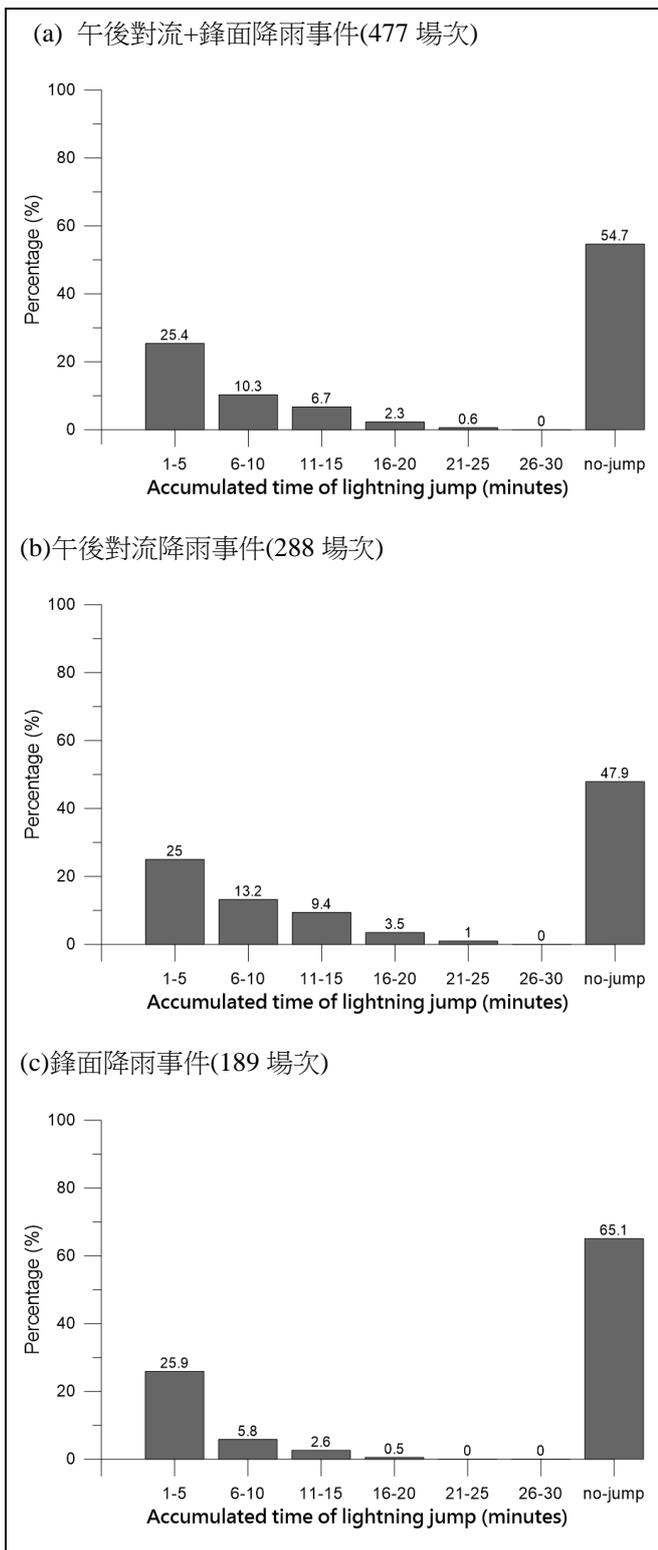


圖 5 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間全臺人工站「降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流和鋒面降雨事件，各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘內有發生閃電躍升的累計時間統計。橫軸為發生閃電躍升的累計時間區間；縱軸為所佔事件數百分比。

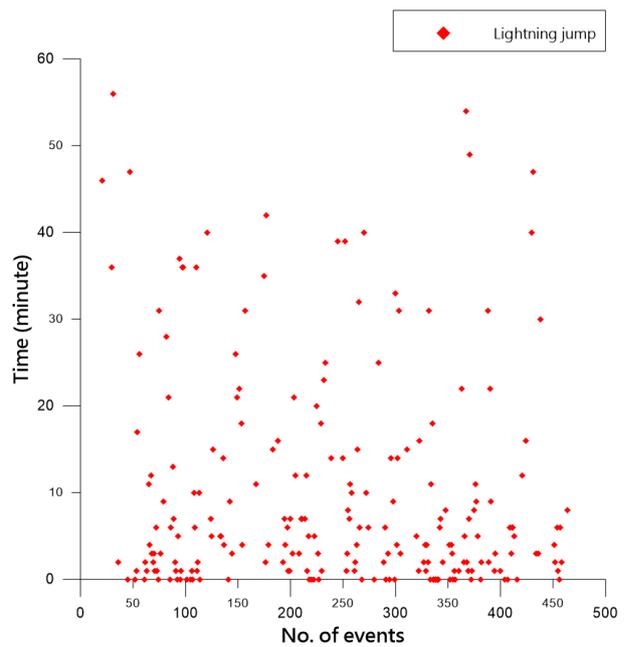


圖 6 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間全臺人工站「降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流和鋒面降雨事件，各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之前 60 分鐘內，最近發生閃電躍升的時間。橫軸為降雨事件編號，共 477 場次；縱軸為時間，為第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 時間往前 60 分鐘範圍；最近發生閃電躍升時間以菱形表示。

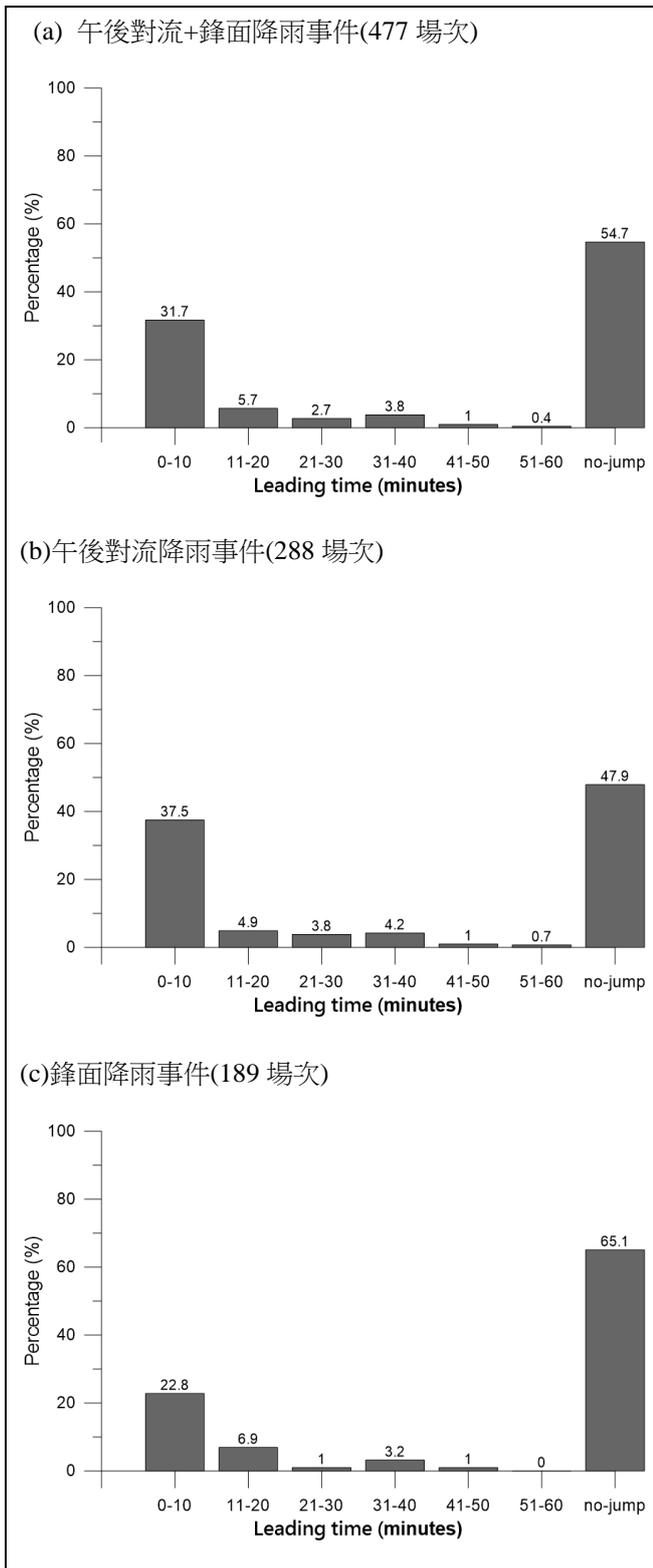


圖 7 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間全臺人工站「降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流和鋒面降雨事件，前 60 分鐘內最近發生閃電躍升對第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 的領先時間統計。橫軸為前 60 分鐘內最近發生閃電躍升的領先時間區間；縱軸為所佔事件數百分比。

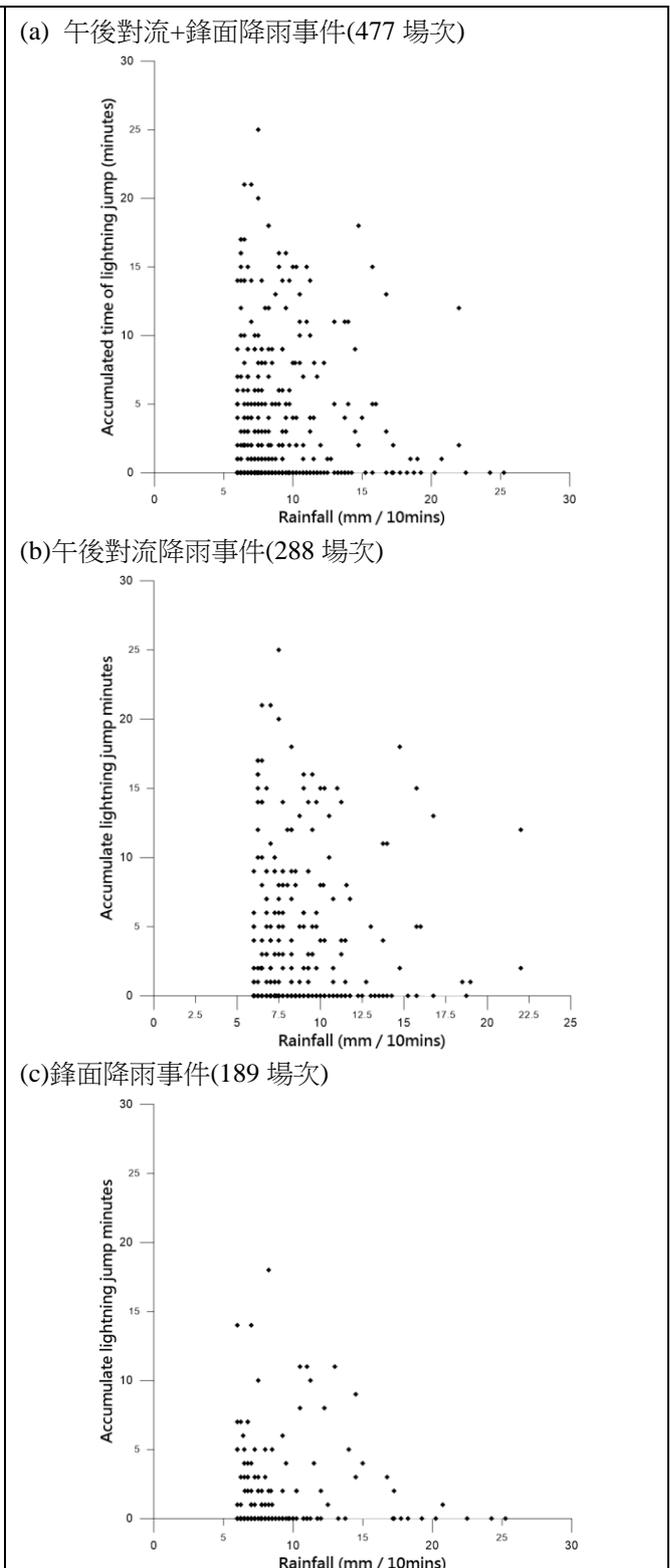


圖 8 2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間全臺人工站「降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流和鋒面降雨事件，各事件第 1 個降雨強度達 6mm/10mins 之降雨強度與前 60 分鐘內之發生閃電躍升累計時間散布圖。橫軸為降雨強度；縱軸為發生閃電躍升的累計分鐘數。