

臺灣地區之閃電特徵與降雨相關性探討-以0601豪雨為例

劉承翰¹ 李天浩³ 于芃¹ 葉明生¹ 張博雄² 陳新淦² 鄭安孺¹

多采科技有限公司¹
交通部中央氣象局²
國立臺灣大學水工試驗所³

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，所以雨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。由於午後對流、鋒面雨、颱風等不同對流系統中的閃電特性以及閃電對應於地面雨量的發生歷程不相同，因此需要根據不同天氣系統之豪大雨事件來，探討閃電特徵與降雨相關性。

2017年6月1至6月4日梅雨鋒面與西南氣流影響台灣地區，在北部、中部以及南部山區降下短延時強降雨，造成新北市北海岸一帶與雲林縣等地區嚴重淹水災情。本研究以測站觀點，選用 Gatlin(2006) 閃電躍升演算法，以 2017 年 0601 豪雨及其他豪雨事件為例，探討鋒面天氣系統移入式雨胞，為測站所帶來之降雨、閃電頻率及閃電躍升三者間相關性。在 2017 年 0601 豪雨事件的閃電躍升對降雨並無明顯領先時間，但在 2016 年 0414 豪雨事件有領先時間。建議未來進一步由測站推展至網格觀點進行閃電躍升分析，期望可作為劇烈天氣可能發生的有用參考指標之一。

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。雷雨胞生命週期大致可分為三階段：發展期、成熟期、消散期。Williams et al.(1999)研究美國佛羅里達區劇烈天氣閃電現象指出，雷雨胞發展初期，閃電活動是緩慢的增加，而雷雨胞活躍期，閃電活動會快速增加，此現象稱之為閃電躍升(lightning jump)。當達到一個高峰期後，閃電活動會緩慢下降，而下降期間地面上會觀測到劇烈天氣，而閃電次數高峰期到地面發生劇烈天氣降雨約有 5~20 分鐘的領先時間，如圖 1 所示。國內外許多研究亦指出，閃電躍升較地面觀察到劇烈天氣發生有領先時間 (Goodman et al. 2005；Schultz et al. 2009；Gatlin and Goodman 2010；戴等 2015)，因此可將閃電躍升作為劇烈天氣即將發生的指標。而林(1999)指出雲對地閃電(cloud-to-ground lightning, CG)對地面降雨並無領先時間，欲以閃電資料預測降雨，使用雲內閃電(intra-cloud lightning, IC)資料較佳。

在中央氣象局前期報告(2016)分析 Gatlin(2006)、Schultz et al. (2009)、Gatlin and Goodman(2010)所提出不同的閃電躍升演算法與不同參數的組合，初步建議以 Gatlin(2006)較適合臺灣地區閃電躍升分析，茲簡介該演算法如下。

Gatlin(2006)為了確定及量化閃電躍升趨勢，計算

總閃電率隨時間的變化 (the time-rate of change of the total flash rate, DFRDT)，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，因此定義當 DFRDT 超過一個標準差時，即閃電躍升現象的起始門檻，而 DFRDT 低於前幾個時刻之 DFRDT 平均值時，為躍升現象的結束門檻，並計為一次閃電躍升。Gatlin(2006)文獻中建議總閃電率可以逐分鐘閃電率 ($\Delta t = 1$ 分鐘)，或兩分鐘平均閃電率 ($\Delta t = 2$ 分鐘) 進行計算。為了將總閃電率平滑化以降低雜訊影響，協助觀測其變化趨勢，文獻建議將總閃電率取權重移動平均進行計算，可強調距計算時刻較近之總閃電率變化趨勢。當以權重移動平均數 $N=3$ 、 $\Delta t = 1$ 分鐘為例計算 Gatlin(2006)提出之方法時，總閃電率移動加權平均為：

$$f_w(t3) = \frac{1}{3} \left[f(t3) + \frac{2}{3} f(t2) + \frac{1}{3} f(t1) \right] \quad (1)$$

(1)式中 $f(t1)$ 、 $f(t2)$ 及 $f(t3)$ 分別為第一、第二及第三分鐘之總閃電率。依(1)式類推可計算其他時段的總閃電率權重移動平均，進而求得 DFRDT：

$$DFRDT = f'_w(t4) = \frac{d}{dt} f_w(t4) = \frac{f_w(t4) - f_w(t3)}{t4 - t3} \quad (2)$$

而文獻亦提及若以事件開始到結束間所有 DFRDT 的標準偏差作為門檻值(視為固定門檻值)，對

於較小幅度上升的總閃電率會較不敏感，因此定義閃電躍升門檻值為：

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

$\sigma[f'_w(t)]$ 為前 N 筆總閃電率隨時間的變化 (DFRDT) 的標準偏差。若 $t = 4$ 則：

$$f'_{thres}(t4) = \frac{\sigma[f'_w(t4)] + f'_{thres}(t3)}{2} \quad (4)$$

關於臺灣地區有兩種閃電落雷偵測系統，分別為中央氣象局閃電偵測系統及臺灣電力公司整合型閃電偵測系統。其中氣象局於 2015 年年初開始於臺灣地區 10 個氣象站增設閃電偵測系統，於 2016 年 8 月另啟用 5 座測站(鞍部、鶯子嶺、七股、臺東、墾丁)，其中 10 座位於臺灣本島內，5 座位於外島地區，分布位置如圖 2 所示。氣象局閃電偵測使用之儀器為 TOA 公司設備，規格如表 1 所示，主要是觀測低頻的電磁波，因此其閃電觀測資料多以雲對地閃電(CG)為主，並使用到達時間差法 (Time Difference of Arrival, TDOA) 定位閃電。

由於強對流的降雨發生時通常伴隨閃電的發生，但不一定呈現高閃電數，鋒面天氣系統閃電躍升較地面觀察到劇烈天氣發生約有數十分鐘的領先時間，而午後對流個案的閃電躍升相較於降雨似乎較沒有明顯的領先。因此，本文挑選鋒面天氣系統的豪雨事件，以 2017 年 0601 及其他豪雨事件為例，採用氣象局總閃電資料，選用 Gatlin(2006) 閃電躍升演算法，探討移入式的雨胞為測站所帶來之降雨、閃電頻率及閃電躍升次數三者間相關性，作為後續相關研究參考。

二、豪雨事件概述

為探討鋒面天氣系統的降雨與閃電關係，除了 2017 年 0601 豪雨事件，另外亦挑選 2016 年 0414 豪雨事件作為分析比對，各降雨事件概述如下：

(一) 2016 年 0414 豪雨事件

2016 年 4 月 14 日台灣地區受滯留鋒面影響，在台南地區有強降雨和閃電伴隨發生，雨量資訊如表 2 所示，其中山上站時雨量 67 毫米，24 小時累積雨量亦超過 200 毫米，達氣象局定義豪雨等級標準，其餘雨量測站亦都有大雨等級

(二) 2017 年 0601 豪雨事件

2017 年 6 月 1 日至 6 月 4 日台灣地區受西南氣流及滯留鋒面影響，造成台灣各地發生豪大雨，其中 6 月 2 日新北市北海岸及 6 月 3 日雲林縣等地區更發生短延時強降雨，造成嚴重淹水災情。

0601 豪雨期間，新北市北海岸一帶降雨主要集中於 6 月 2 日 2 時至 12 時，而雲林縣地區降雨主要集中於 6 月 2 日 22 時至 6 月 3 日 7 時，致災地區雨量

資訊如表 3 所示。表 3 為 0601 豪雨期間新北市北海岸和雲林縣地區最大 24 小時累積雨量部分測站概況，由表 3 可知新北市三芝、富貴角及金山雨量站 24 小時累積雨量都超過 500 毫米，已達氣象局定義之超大豪雨，而雲林縣古坑、大埤、斗南、土庫及褒忠 24 小時累積雨量也皆達大豪雨或超大豪雨等級，為臺灣地區致災劇烈天氣(豪大雨事件)。

圖 3 和圖 4 分別為上述兩個鋒面天氣系統豪雨事件於 10 分鐘內之閃電分布(左)及累積雨量圖(右)，可以看出閃電密集位置，亦是強降雨區。

三、降雨與閃電資料分析

本研究以測站觀點進行閃電躍升分析，考慮閃電可能來自於不同雨胞的貢獻，但是站在的降雨預測角度，以定點進行分析是合理的，因為在即時應用時，並無法預測雨胞在下一時間可能行進的位置，即使閃電躍升對降雨有領先時間，也無法在閃電躍升發生後，預測未來降雨可能發生的位置。而站在測站的觀點，當有高強度對流雨胞逐漸向其接近時，可能在測站附近觀測到高頻率閃電，並且造成高強度降雨。為了解台灣地區鋒面降雨、閃電頻率及閃電躍升次數三者間的關係，本研究先以 2016 年 4 月 14 日豪雨事件的鋒面兩個案進行初步分析，並再以 2017 年 6 月 1 日豪雨事件的滯留鋒面兩個案作分析，分析結果如下。

(一) 2016 年 0414 豪雨事件

本研究採表 2 山上、玉井、安定及麻豆等測站降雨資料，並取測站周圍 10 公里總閃電計算閃電率及應用 Gatlin(2006) 閃電躍升演算法進行閃電躍升分析，結果如圖 5 所示。

圖 5 為 2016 年 4 月 14 日 15 時至 4 月 15 日 06 時之氣象局雨量測站與其周圍 10 公里內閃電率、閃電躍升時間序列圖，資料時間間隔為每 10 分鐘。由圖 3 之(a)山上、(b)玉井、(c)玉井及(d)麻豆等測站可看出 4 月 14 日 15 時至 4 月 15 日 06 時明顯發生兩波降雨，第一波降雨發生時間約在 14 日 16 時至 20 時，第二波降雨發生時間約在 15 日 01 時至 05 時。

以下分析各測站之總閃電率、降雨以及閃電躍升之領先時間：

1. 山上站(圖 5(a)):

總閃電率第一個峰值發生在 17:20，比在第一波的第一個降雨峰值(17:30，降雨量為 19 毫米/10mins)提前。以閃電躍升分析結果，第一個閃電躍升發生於 17:10，比第一個降雨峰值領先約 20 分鐘。而在第二波降雨，發生於 02:20 的閃電躍升，也比之後 02:40 降雨(8.5 毫米/10mins)領先約 20 分鐘。

2. 玉井站(圖 5(b)):

總閃電率主要有兩個峰值分別發生在 17:30 及 19:20，17:30 的總閃電率峰值有領先降雨，以閃電躍升分析結果，於 17:20 發生閃電躍升後，約於 10 分鐘

開始降雨。而最大閃電率峰值與最大降雨(19:20, 降雨量為 22.5 毫米/10mins)雖然同時發生, 但於 19:10 偵測到閃電躍升, 領先約 10 分鐘。

3. 安定站(圖 5(c)):

總閃電率主要有兩個峰值分別發生於 17:20 及 19:10, 並已開始降雨。以閃電躍升分析結果, 於 17:00 發生閃電躍升後, 約於 10 分鐘後開始降雨, 且於 20 分鐘後降雨量達 11.5 毫米/10mins。第二個閃電率峰值比最大降雨量(19:00, 降雨量為 19.5 毫米/10mins)晚發生, 但於 18:30 偵測到閃電躍升, 領先最大降雨量約 30 分鐘。另外, 於第二波降雨, 雖然閃電率不高, 但亦偵測到閃電躍升且有領先時間。

4. 麻豆站(圖 5(d)):

總閃電率主要有兩個峰值分別發生於 17:20 及 19:00, 並已開始降雨。以閃電躍升分析結果, 於 16:50 發生閃電躍升後, 約領先降雨 20 分鐘, 且於 30 分鐘後降雨量達 11.5 毫米/10mins。但於最大降雨(19:00, 降雨量為 16.5 毫米/10mins)雖然有偵測到閃電躍升, 無領先時間。

整體而言, 在 2016 年 0414 豪雨事件, 閃電躍升都領先強降雨發生時間, 約有 10~20 分鐘。

(二) 2017 年 0601 豪雨事件

本研究分別對臺灣新北市北海岸和雲林縣地區, 以表 3 所列之三芝、富貴角、古坑及大埤測站, 取測站周圍 10 公里總閃電計算閃電率及閃電躍升分析, 結果如圖 6 所示。

在三芝及富貴角兩測站, 閃電躍升發生在降雨之後, 並無領先時間, 但在 6 月 2 日約 10:30 閃電率為最高, 降雨量也大。在古坑及大埤兩測站, 閃電躍升與降雨同時發生, 無領先時間, 但閃電率高時, 降雨量也偏大。

四、結論與建議

由上述兩個鋒面天氣系統豪雨事件, 於 10 分鐘內之閃電分布及累積雨量圖(圖 3~圖 4), 顯示閃電密集位置, 亦是強降雨區。

本研究以氣象局總閃電資料, 取測站周圍 10 公里總閃電計算閃電率及應用 Gatlin(2006)閃電躍升演算法, 對兩個鋒面天氣系統豪雨事件所分析結果:

在 2016 年 0414 豪雨事件的山上、玉井、安定及麻豆等測站得閃電躍升, 對降雨約有 10~20 分鐘的領先時間。但在 2017 年 0601 豪雨事件, 在三芝及富貴角兩測站, 並無領先時間; 在古坑及大埤兩測站, 閃電躍升與降雨同時發生。

上述結果為個案分析, 未來仍需較多個案來檢視不同系統間是否具有一致的結論。但由於雨量站密度有限, 無法反應全臺各地情形, 建議未來進一步由測站推展至網格觀點進行分析, 期望可作為劇烈天氣可能發生的有用參考指標之一。

五、參考文獻

中央氣象局氣象預報中心計畫「105 年度小區域暨災害性天氣資料分析與應用建置案-即時氣象監測資料應用」。

林熿閔, 1999: 雲對地閃電與降水關係之研究。大氣科學, 第 27 期, 第 1 號, 75—98。

Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 27, 3—22.

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.

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.

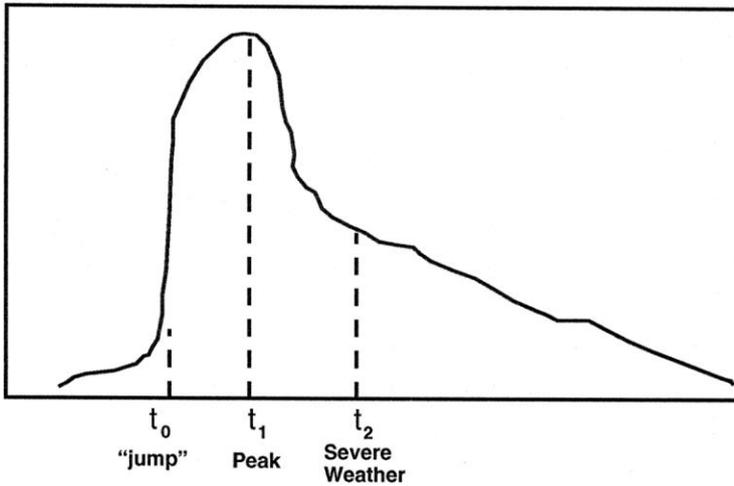


圖 1 雷雨胞閃電發展歷程示意圖 (摘自 Williams et al., 1999)

圖 2 中央氣象局閃電偵測系統測站分布位置

表 1 氣象局閃電落雷偵測系統規格表

	TOA 系統公司偵測站 (中央氣象局閃電偵測系統)
運算主機	LPS200
感測器型號	DSP-DF200
偵測距離	約 800 km
閃電型式	主要為雲對地(CG)閃電
高頻偵測	40 MHz ~ 1 GHz
低頻偵測	1.5 kHz ~ 400 kHz
通訊介面	TCP/IP

表 2 2016 年 0414 豪雨期間台南市地區最大 24 小時累積雨量概況

測站名稱	位置	各延時最大累積雨量(毫米)				
		24 小時	12 小時	6 小時	3 小時	1 小時
山上	台南市山上區	213.0	169.0	169.0	105.0	67.0
玉井	台南市玉井區	147.0	143.0	72.0	70.5	44.0
安定	台南市安定區	141.0	139.0	74	73.5	39.5
大內	台南市大內區	140.0	139.0	77.0	77.0	43.0
麻豆	台南市麻豆區	131.0	129.5	70.5	69.5	38.5
新市	台南市新市區	129.5	128.5	79	78.5	46.0

資料來源: 中央氣象局網站。

表 3 2017 年 0601 豪雨期間新北市北海岸和雲林縣地區最大 24 小時累積雨量概況

測站名稱	位置	各延時最大累積雨量(毫米)				
		24 小時	12 小時	6 小時	3 小時	1 小時
三芝	新北市三芝區	645.5	641.0	422.5	242.0	112.0
富貴角	新北市石門區	627.0	624.0	439.0	238.0	93.0
金山	新北市金山區	549.5	531.5	356.5	203.5	79.5
古坑	雲林縣古坑鄉	520.5	489.0	335.0	209.5	85.5
大埤	雲林縣大埤鄉	452.0	429.5	332.5	169.0	117.5
斗南	雲林縣斗南鎮	407.5	384.0	266.5	163.0	65.0
土庫	雲林縣土庫鎮	395.0	381.5	267.0	150.0	63.0
褒忠	雲林縣褒忠鄉	379.0	366.5	243.5	148.5	59.0

資料來源: 中央氣象局網站。

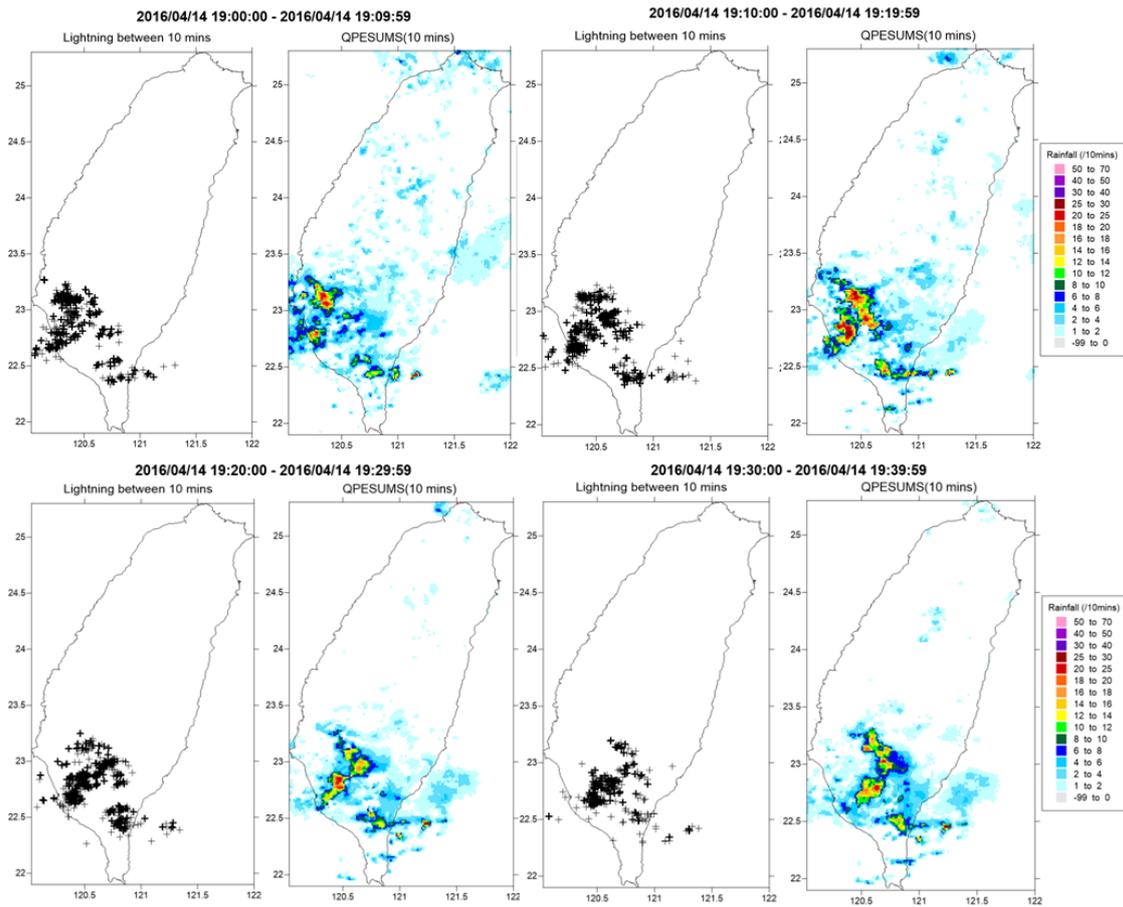


圖 3 2016 年 04 月 14 日 19:00:00 至 19:39:59 每 10 分鐘內之閃電分布(左)和累積雨量比較圖(右)

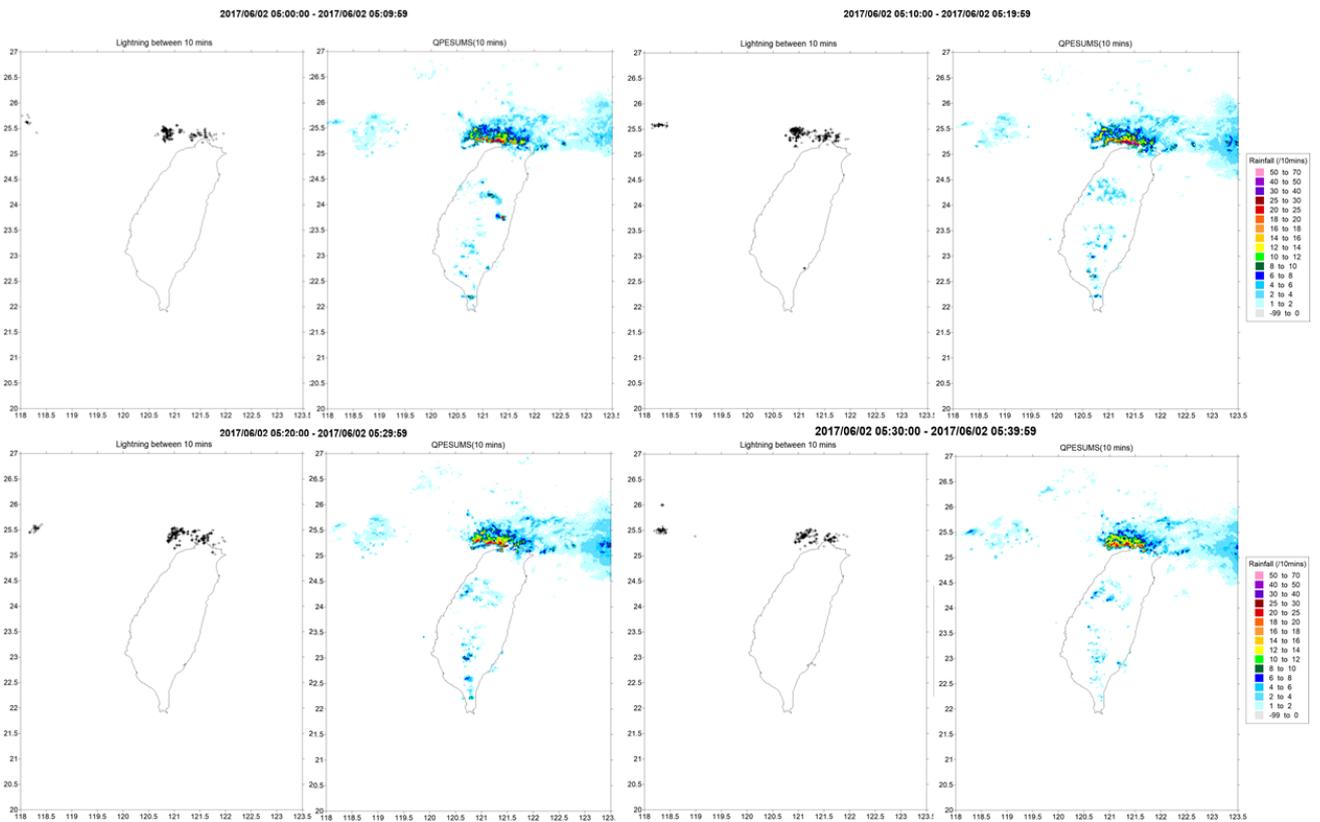


圖 4 2017 年 06 月 02 日 05:00:00 至 05:39:59 每 10 分鐘內之閃電分布(左)和累積雨量比較圖(右)

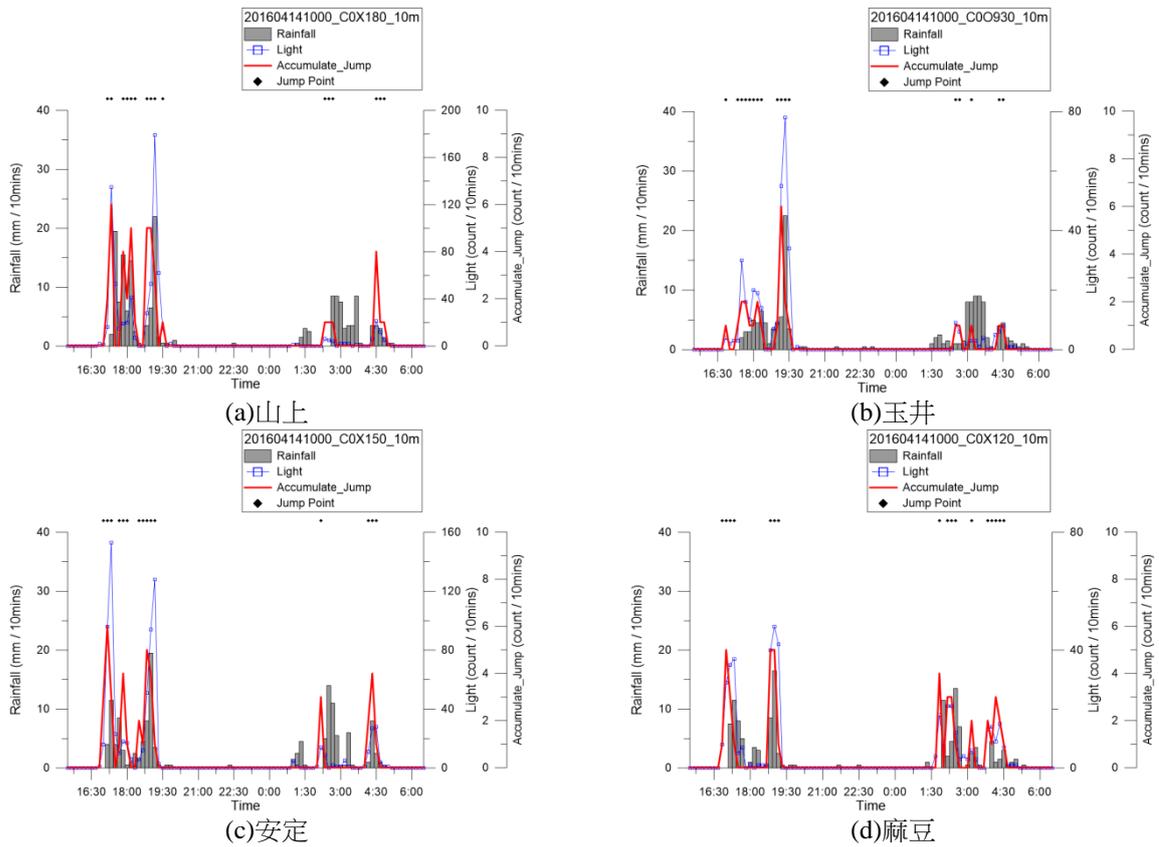


圖 5 2016/04/14 豪雨事件氣象局測站與其周圍 10 公里內閃電率時序圖

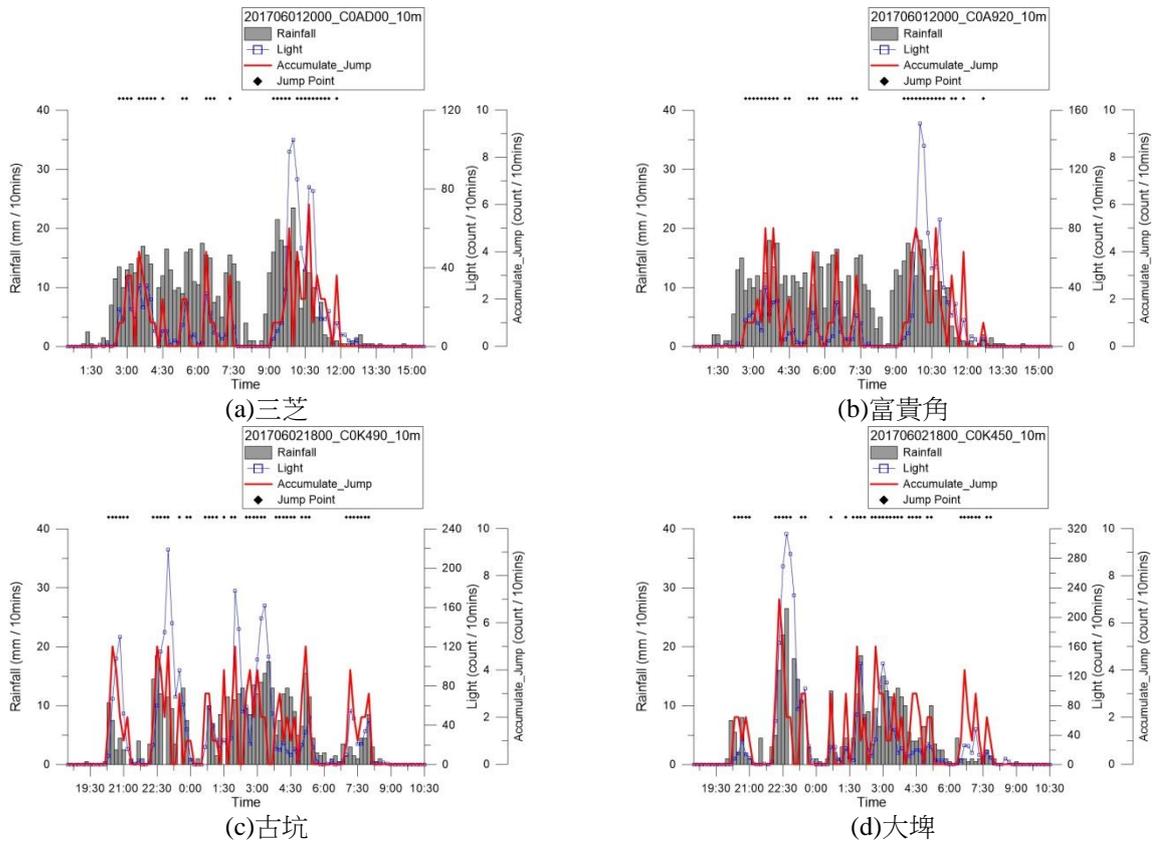


圖 6 2017/06/01 豪雨事件氣象局測站與其周圍 10 公里內閃電率時序圖

註：橫軸為時間，左縱軸為 10 分鐘降雨量，右邊第一縱軸為 10 分鐘閃電數，右邊第二縱軸為 10 分鐘閃電躍升數，灰色柱狀表示降雨量，藍線方框表示閃電，紅線表示閃電躍升。