

適用於台灣地區降雨預警之閃電躍升演算法探討

葉明生¹ 張博雄² 陳新淦² 李天浩³ 于芃¹

¹多采科技有限公司

²交通部中央氣象局

³國立臺灣大學土木工程學系

(中華民國一〇六年九月四日收稿；中華民國一〇七年四月十六日定稿)

摘 要

本研究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，提出適用臺灣地區閃電躍升演算法與參數，以期能對臺灣地區豪大雨即時預警提供指引。

在分析流程上，首先分析臺灣地區閃電觀測系統資料，整體呈現台電偵測系統的雲中閃電(Intra-Cloud lightning, IC)數量明顯高於氣象局。在針對對流胞與測站兩種不同的坐標觀點、不同偵測範圍與總閃電率門檻進行評估後，本研究採用測站觀點，以半徑 10 公里範圍的總閃電資料進行閃電躍升分析。接著，在各種閃電躍升演算法與參數的 134 種搭配組合中，以測站降雨強度 6mm/10mins 門檻值，配合閃電躍升領先時間 1 小時計算技術得分。根據得分結果，採用台電偵測系統的總閃電資料，以 Gatlin (2010)提出之演算法採用 10 分鐘權重移動平均及 $\Delta t = 1$ 分鐘，為本研究建議方法（可偵測機率 0.42、臨界成功指數 0.26、誤報率則為 0.59）。採用氣象局偵測系統的總閃電資料，則以 Schultz et al. (2009)提出 2σ 法採用 $\Delta t = 1$ 分鐘，為本研究建議方法（可偵測機率 0.43、臨界成功指數 0.33、誤報率則為 0.42）。上述針對臺灣地區閃電資料分析與閃電躍升演算法選定結果，可作為未來發展臺灣地區豪大雨預警的參考。

關鍵字：對流胞、閃電偵測系統、閃電躍升、列聯表技術得分

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)。閃電躍升現象的客觀判定方法以及其與局部地區發生劇烈天氣(包括龍捲風、地面強風及冰雹)事件的關聯性，常是作為科學探討的議題之一。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)利用位於阿拉巴馬州超高頻 LMA (Lightning Mapping Array)閃電偵測系統所得的資料，研究 2002 年夏季強對流以及龍捲風暴風雨事件中的總閃電行為。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。

近期則有 Gatlin (2006)、Schultz et al. (2009)、Gatlin and Goodman (2010)以及戴等(2015)、戴等

(2017)陸續提出客觀和定量的閃電躍升演算法，分別應用於不同天氣(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，各種閃電躍升演算法多是依閃電率的變化趨勢來辨別閃電躍升現象，分別說明如下：

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。其研究是以 DFRDT 的標準偏差作為判識閃電躍升的一個指標，並以列聯表(contingency table)方式校驗不同閃電躍升演算法對於劇烈天氣的預警成效，定義命中值(hit)為判定有閃電躍升發生後的 30 分鐘內地面有觀測到劇烈天氣發生，結果顯示以採用 2 分鐘時間間距計算之得分最佳，臨界成功指數(Critical Success Index, CSI)達 0.55，可偵測機率(Probability of Detection, POD)達 0.99，而 1 分鐘時間間距有很好的 POD 值，但很多較小的總閃電率波動會被辨識為閃電躍升。

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，利用 LMA 閃電偵測系統的總閃電資料探討閃電躍升演算法對於預測劇烈天氣的適用性。該研究以 VHF 原始資料(very high frequency source)，判斷伴隨該雷暴的閃電；作法是以最大密度位置為中心，加總 10 或 15 km 半徑內的閃電數量。結果顯示，以 2 分鐘時間間距可以得到最好的預測結果，90%的劇烈天氣事件發生前有閃電躍升，較地面觀察到劇烈天氣的領先時間可高達 27 分鐘，但是也有 37%的事件是閃電躍升後未有劇烈天氣發生。校驗得分呈現 CSI 值最高可達 0.49，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，應用建立於雷達回波的 TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking and Nowcasting algorithm)法來追蹤雨胞，且決定暴風雨強度。研究中評估六種閃電躍升演算法，其中以 2σ 閃電躍升法為最佳，其 POD 值可達 0.87、誤報率(False Alarm Ratio, FAR)則為 0.33。Threshold 8 方法為次佳，POD 值為 0.81、FAR 值則為 0.41。此二種閃電躍升演算法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。當閃電頻率增加的時候，大部分的閃電均發生在大回波區中，閃電位置所在的 3 公里高度，回波強度 40~50 dBZ 之間多會發生閃電總量的峰值，閃電頻率隨時間的變化和 50 dBZ 之回波頂高度有明顯相關，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/m^2 ，垂直液態水含量對於閃電頻率亦有較好的相關。譚(2006)分析 1989~2005 年臺灣颱風和對流系統之閃電與降雨的特徵，發現閃電頻率於中央山脈西部最為密集，其中又以局部熱對流天氣系統最為頻繁，且局部熱對流天氣系統的閃電個案中，雲中閃電與對流型降雨發生地點與範圍一致；而颱風的對流系統個案中，閃電和強降雨沒有明顯的相關性。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，其以 2005 年 5 月 12 日梅雨鋒面個案分析顯示閃電頻率平均每分鐘高達 252 次，其中雲中閃電頻率約佔總閃電量

的 98%，而雲對地閃電所佔比例則相對偏小，只佔 2%，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、移動性雷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，針對全臺 850 個雨量站為中心的 $72 \times 72 \text{ km}^2$ 正方形分析區，以分析區內至少 1 個雨量站出現 10 mm/10mins 以上雨量為對流性降雨事件之定義，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。

本研究先系統性探討臺灣地區閃電資料可用性，建構適用臺灣地區的閃電躍升演算法與參數，作為豪大雨預警的參考指標。期望所選定之閃電躍升演算法與參數，能對大雨以上之午後對流與對流降雨即時預警，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 $6\text{mm}/10\text{mins}$ 以上」之午後對流與鋒面事件，配合閃電躍升領先時間為 1 小時，評估發生躍升後 1 小時內的 10 分鐘的降雨強度是否達 $6\text{mm}/10\text{mins}$ 之技術得分，而採用每 10 分鐘的降雨強度門檻較能適用於即時預警。藉由使用台電公司與中央氣象局閃電偵測系統大量的閃電觀測資料，本研究由對流胞與測站兩種不同的坐標觀點、不同偵測範圍與總閃電率門檻、以及不同閃電型式（總閃電與雲中閃電）進行評估，依各種閃電躍升演算法與搭配不同參數共

134 種組合，再根據技術得分，提出適用於臺灣地區的閃電躍升演算法與參數之建議。

二、閃電偵測資料來源及分析流程

(一) 閃電觀測資料

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，簡述如下：

1. 台電公司整合型閃電偵測系統(Taiwan Power Company Total Lightning Detection System, TPCLDS)

台電公司自 2000 年開始於臺灣本島設置 8 座閃電偵測系統(圖 1(a))，於 2002 年 11 月完成並上線運作。使用儀器為 Vaisala 公司的閃電偵測設備，主要是觀測超高頻以及高頻的電磁波，因此主要是對於雲中閃電型式的偵測。TPCLDS 以整合磁場側向定位(Magnetic Direction Finders, MDF)和到達時間法(Time of Arrival, TOA)來進行閃電定位。

2. 中央氣象局閃電偵測系統(Central Weather Bureau Lightning Detection System, CWBLDS)

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 1(b))。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。

在一道閃電放電的過程中，可能偵測到一至數個輻射源(radiation source)，有時為了將這些輻射源視為來自同一道閃電(flash)，會透過時間和空間距離相近的程度設定門檻條件來群聚這些輻射源(Gatlin and Goodman 2010)。由於 CWBLDS 與 TPCLDS 的儀器位置與偵測原理不同，致使兩者系統偵測之閃電型式、數量及定位皆有差異。由於本研究取得 TPCLDS 及 CWBLDS 閃電資料皆只區分 IC 與 CG，因此本文所指總閃電為 IC 加上 CG 數量。為瞭解此兩者系統在閃電偵測閃電型式、數量與定位的差異，依據氣象局豪大雨天氣特報中的天氣描述，將 2015 年 4 月至 2016 年 3 月期間的降雨分類為午後對流、鋒面及颱風事件，挑選出各事件發生期間達大雨等級以上標準(依據中央氣象局 2015 年 9 月 1 日修訂的最新雨量分級定義，以下的雨量分級皆是依此標準)的測站，統計該測站累積雨量與同時段距離該測站周圍半徑 10 公里內的 TPCLDS 及 CWBLDS 所偵測的 IC 與 CG 閃電次數(圖 2)。由於所蒐集到 TPCLDS 及 CWBLDS 偵測紀錄，每筆為偵測到一次閃電，資料欄位包含發生時間、坐標與閃電型式(區分為 IC 與 CG)。本研究根據每筆閃電之發生時間、坐標，配合與測站為中心之半徑為 10 公里範圍，計算出該測站每分鐘閃電次數，再將該事件發生期間閃電次數累加，即可得出該測站於該事件之 IC 與 CG 閃電次數。

以圖 2(a)為例，期間內所有午後對流事件達大雨等級以上的測站累計共 317 站次，橫軸為站次編號。由圖 2 可知，不論在哪種天氣系統下，TPCLDS 與 CWBLDS 偵測的閃電型式及數量差異甚大。以午後對流事件而言(圖 2(a))，TPCLDS 對於 IC 的最高紀錄可達上萬筆，CG 卻只有數十筆；而 CWBLDS 偵測 IC 最多僅數百筆，CG 紀

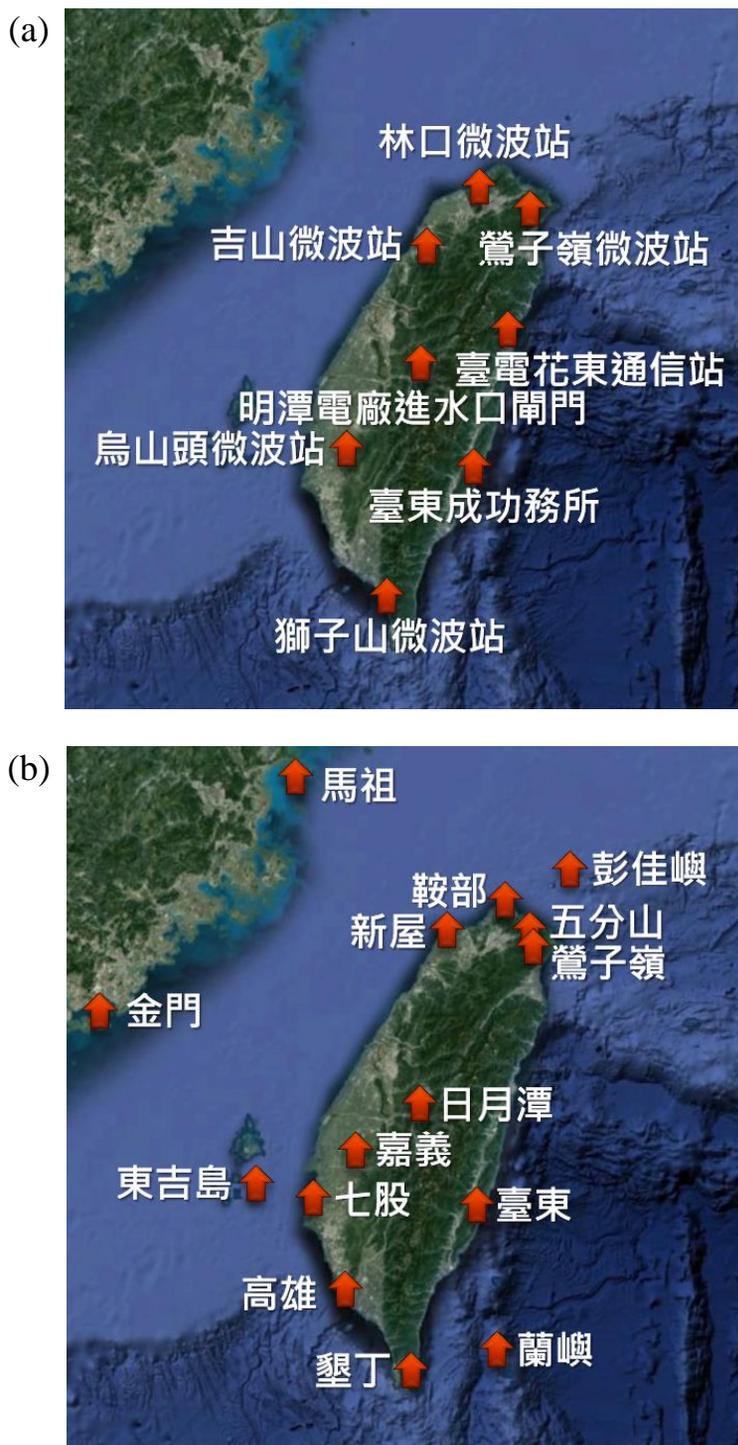


圖 1 臺灣現有兩種閃電落雷偵測系統測站分布位置(a)台電公司整合型閃電偵測系統(TPCLDS)及(b)中央氣象局閃電偵測系統(CWBLDS)。

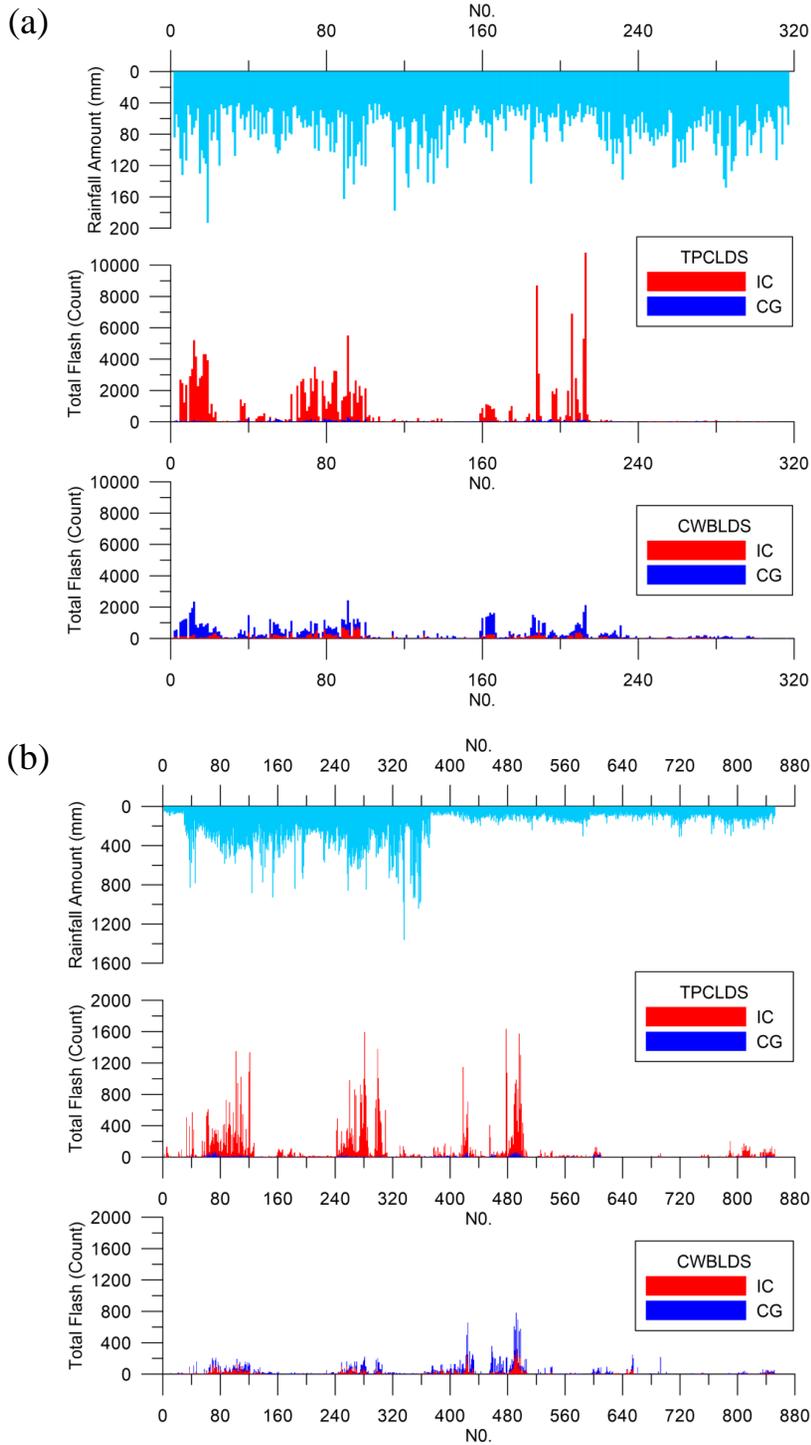


圖 2 2015 年 4 月至 2016 年 3 月三種天氣類型(a)午後對流事件、(b)鋒面事件及(c)颱風事件統計。橫軸為達大雨等級以上站次編號。其中(a)~(c)內之上小圖縱軸為測站於該事件之累積雨量；中小圖縱軸為測站於該事件中半徑 10 公里內 TPCLDS 偵測之 IC 和 CG 累積閃電次數；下小圖縱軸為測站於該事件中半徑 10 公里內 CWBLDS 偵測之 IC 和 CG 累積閃電次數。

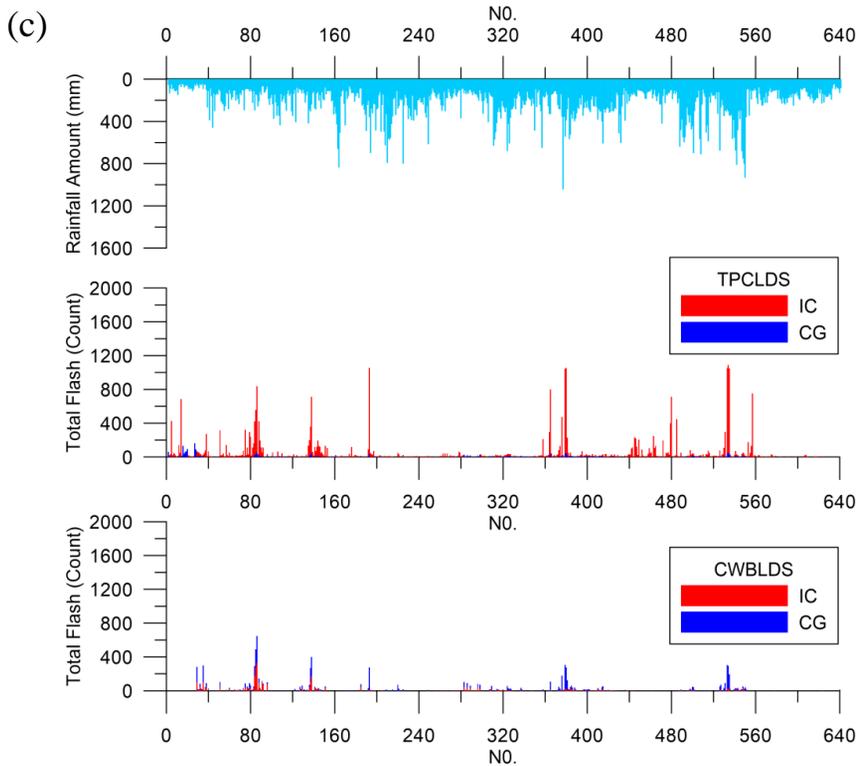


圖 2 (續)。

錄則可達兩千多筆。三種天氣類型整體呈現 TPCLDS 偵測的 IC 數量明顯高於 CWBLDS。分析圖 2 午後對流、鋒面及颱風等不同類型的閃電數量及累積降雨的相關係數，以午後對流事件的測站總降雨量與其半徑 10 公里內的 CWBLDS 的 CG 數量之相關係數 0.17 為最高，顯示無明顯相關性。此外，颱風事件總閃電數較鋒面及午後對流事件少。而測站半徑 10 公里內 TPCLDS 總閃電數，於午後對流事件最多可達 10,910 次(如圖 2(a)的編號第 212 站次)，鋒面事件約 1,642 次(如圖 2(b)的編號第 477 站次)，颱風事件則最大不超過 1,129 次(如圖 2(c)的編號第 533 站次)。值得注意的是颱風事件降雨量雖可達 800 mm，但其最高總閃電次數卻小於午後對流及鋒面事件，綜合上述，後續分析先著重在午後對流及鋒面事件。

(二) 分析流程

要挑選適宜的閃電躍升演算法與參數，需先評估用來進行閃電躍升計算之資料。本研究分析流程如圖 3 所示，可分為兩部分：1.閃電資料選用探討及 2.閃電躍升演算法與參數選定。

首先，為挑選適用的閃電資料進行閃電躍升計算，分別以 TPCLDS 與 CWBLDS 閃電資料進行評估。先就對流胞觀點與測站觀點的閃電資料探討，再以不同偵測範圍與總閃電率門檻，決定適用於閃電躍升計算之閃電資料。接著，根據技術得分挑選閃電躍升演算法與參數。由於 Gatlin (2006)、Schultz et al. (2009)、Gatlin and Goodman (2010)各提出不同的閃電躍升演算法，經彙整主要分為「Gatlin 法」、「Threshold 法」及「 σ 法」三大類，算式如表 1 及表 2 所列，為客觀量化與判

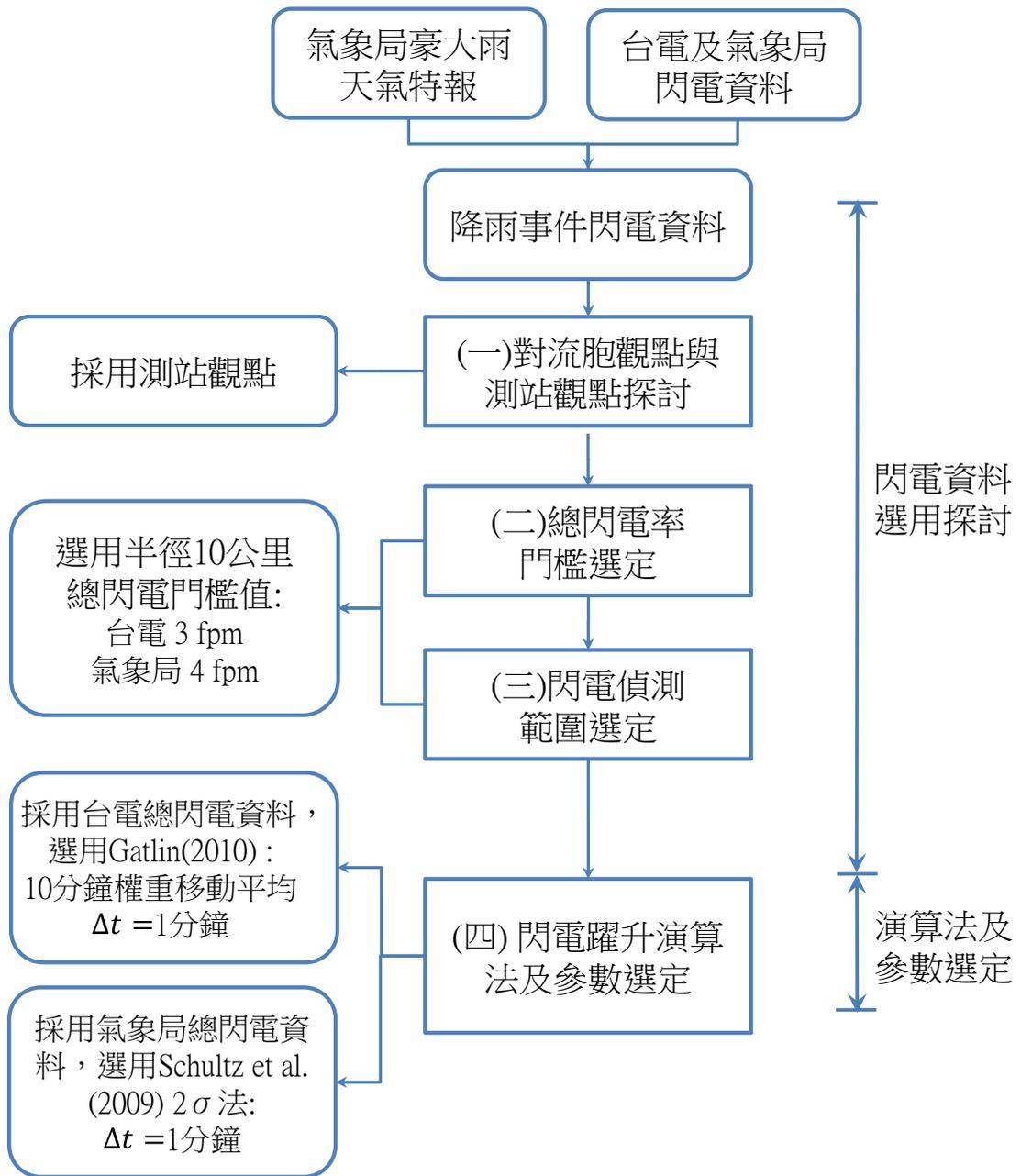


圖 3 分析流程圖。

表 1 Gatlin 法及 Threshold 法說明。

符號	中文	單位	說明
$f(t)$	總閃電率	(flashes/min)	可採用 $\Delta t = 1$ 分鐘或 $\Delta t = 2$ 分鐘演算，其中： $\Delta t = 1$ 分鐘的總閃電率為每分鐘的總閃電次數除以 1 分鐘 $\Delta t = 2$ 分鐘的總閃電率為 2 分鐘總閃電次數相加除以 2 分鐘
$f_w(t)$	$f(t)$ 的權重移動平均	(flashes/min)	$f_w(t) = \frac{1}{N} \sum_{\tau=0}^{N-1} w(t - \tau \cdot \Delta t) f(t - \tau \cdot \Delta t)$ $w(t - \tau \cdot \Delta t) = \frac{N - \tau}{N}$ $N = 6 \sim 10$
$f'_w(t)$ (DFRDT)	$f_w(t)$ 隨時間的變化率	(flashes/min ²)	$f'_w(t) = \frac{d}{dt} f_w(t) \approx \frac{f_w(t) - f_w(t - \Delta t)}{\Delta t}$
$\overline{f'_w(t)}$	$f'_w(t)$ 平均	(flashes/min ²)	$\overline{f'_w(t)} = \frac{1}{N} \sum_{\tau=0}^{N-1} f'_w(t - \tau \cdot \Delta t)$
$\sigma[f'_w(t)]$	$f'_w(t)$ 標準偏差	(flashes/min ²)	$\sigma[f'_w(t)] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\tau=0}^{N-1} [f'_w(t - \tau \cdot \Delta t) - \overline{f'_w(t)}]^2}$
$f'_{thres}(t)$	總閃電率隨時間的變化率之門檻值	(flashes/min ²)	Threshold 法 $f'_{thres}(t) = i, i = 1, 2 \dots 10$
			Gatlin2006A3 $f'_{thres}(t) = \frac{\sigma[f'_w(t)] + f'_{thres}(t - \Delta t)}{2}$
			Gatlin20102C $f'_{thres}(t) = \overline{f'_w(t)} + 2\sigma[f'_w(t)]$
			Gatlin2010A1 $f'_{thres}(t) = \frac{\overline{f'_w(t)} + 2\sigma[f'_w(t)] + f'_{thres}(t - \Delta t)}{2}$
$f_{thres}(t)$	總閃電率門檻值	(flashes/min)	參考 Schultz et al. (2009)，由總閃電率峰值統計結果選定

表 2 σ 法說明。

符號	中文	單位	說明
$f(t)$	總閃電率	(flashes/min)	可採用 $\Delta t = 1$ 分鐘或 $\Delta t = 2$ 分鐘演算，其中： $\Delta t = 1$ 分鐘的總閃電率為每分鐘的總閃電次數除以 1 分鐘 $\Delta t = 2$ 分鐘的總閃電率為 2 分鐘閃總電次數相加除以 2 分鐘
$f'(t)$	$f(t)$ 隨時間的變化率	(flashes/min ²)	$f'(t) = \frac{d}{dt} f(t) \approx \frac{f(t) - f(t - \Delta t)}{\Delta t}$
$\overline{f'(t)}$	$f'(t)$ 平均	(flashes/min ²)	$\overline{f'(t)} = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N f'(t - \tau \cdot \Delta t)$ $N = 10$
$\sigma[f'(t)]$	$f'(t)$ 標準偏差	(flashes/min ²)	$\sigma[f'(t)] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N [f'(t - \tau \cdot \Delta t) - \overline{f'(t)}]^2}$ $N = 10$
$f'_{thres}(t)$	總閃電率隨時間的變化率之門檻值	(flashes/min ²)	3 σ 法 $f'_{thres}(t) = 3\sigma[f'(t)]$ 2 σ 法 $f'_{thres}(t) = 2\sigma[f'(t)]$
$f_{thres}(t)$	總閃電率門檻值	(flashes/min)	參考 Schultz et al. (2009)，由總閃電率峰值統計結果選定

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。

這三大類演算法是建立於總閃電率 [$f(t)$] 為基礎而推展出不同的判定邏輯與門檻設定，可分為逐分鐘閃電率 ($\Delta t = 1$ 分鐘)，或兩分鐘平均閃電率 ($\Delta t = 2$ 分鐘)。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 (表 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，由於 Gatlin and

Goodman (2010) 建議為 6~10 分鐘 ($\Delta t = 1$ 分鐘) 與 12~20 分鐘 ($\Delta t = 2$ 分鐘)，換言之，即為表 1 中 N 取 6~10 筆，於本研究亦採用此範圍進行評估。

Gatlin 此系列演算法，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，並定義三種計算方式來設定門檻值。說明如下：

依照 Gatlin (2006) 文獻附錄的 A3 式 (以 Gatlin2006A3 表示)，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，算式如式(1)所

示：

$$f'_{thres}(t) = \frac{\sigma[f'_w(t)] + f'_{thres}(t - \Delta t)}{2} \quad (1)$$

第二種方式為 Gatlin and Goodman (2010)文獻 2.C 小節所述之方法(以 Gatlin20102C 表示)，門檻值為 $f_w(t)$ 數列的平均值加上 2 倍標準偏差，算式如式(2)所示：

$$f'_{thres}(t) = \overline{f'_w(t)} + 2\sigma[f'_w(t)] \quad (2)$$

而第三種則是同樣在 Gatlin and Goodman (2010)文獻中的附錄 A1 式(以 Gatlin2010A1 表示)，將門檻值視為式(1)及式(2)的綜合，算式如式(3)所示：

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

另外，本研究於上述 Gatlin 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 [$f_{thres}(t)$]。

Threshold 法為 Schultz et al. (2009)提出，根據 Schultz(2009)文獻所述，Threshold 分別設定總閃電率門檻值 [f_{thres}] 與總閃電率隨時間的變化率之門檻值 [f'_{thres}]。第一階段 f_{thres} 門檻值為演算法啟動條件，第二階段 f'_{thres} 門檻值則用以判斷閃電躍升之發生。 $f'_w(t)$ 的計算與 Gatlin 法相同，但 Schultz (2009)以統計分析提出 f_{thres} 與 f'_{thres} 。對此演算法，本研究 f_{thres} 門檻值參考 Schultz (2009)以累積機率來選擇，而 f'_{thres} 則採用 1~10 flashes/min² 範圍由技術得分評估，是因為在決定 f_{thres} 後，Threshold 法此方法的參數組合已減少到可直接經由技術得分評估。

σ 法亦為 Schultz et al. (2009)提出，Schultz (2009)文獻於 σ 法演算時亦納入 $f_{thres}(t)$ 與 $f'_{thres}(t)$

門檻值條件， $f_{thres}(t)$ 目的是避免將非劇烈天氣事件誤判為劇烈天氣，算式如表 2 所列，包含 2σ 和 3σ 法，與 Gatlin 法不同處在於總閃電率計算是不包含計算時刻，且不需取權重移動平均，本研究採用 Schultz et al. (2009)建議 N 值為 10。另外，參考 Schultz et al. (2009)所提之若二個閃電躍升間隔等於或少於 6 分鐘則視為一個閃電躍升，本研究並運用於上述之「Gatlin 法」、「Threshold 法」及「 σ 法」之各方法。

故閃電躍升演算法包含 Gatlin 法的 3 種門檻計算方式、5 種權重移動平均(N = 6~10)、Threshold 法的 5 種權重移動平均數(N = 6~10)、10 個門檻值($i = 1 \sim 10$)、以及 σ 法(2σ 、 3σ)，而每種計算都可以用逐分鐘總閃電率 ($\Delta t = 1$ 分鐘)或兩分鐘平均總閃電率 ($\Delta t = 2$ 分鐘)作計算，因此可有 134 種客觀判定是否具閃電躍升現象的組合。本研究將藉由列聯表的技術得分校驗從這 134 種組合中選取適合臺灣閃電躍升分析之演算法，以作為未來發展臺灣地區豪大雨預警前兆的參考指引。為方便以下研究結果的敘述與比較，Gatlin 法與 Threshold 法在不同參數設定下以 *method_Nx_ym* 表示，而 σ 法則以 *method_ym* 表示，其中，*method* 為演算法名稱 (Gatlin 法分別有 Gatlin2006 A3、Gatlin20102C 與 Gatlin2010A1；Threshold 法在不同門檻值表示為 *Threshold_i*， $i = 1 \sim 10$ ； σ 法為 2σ 或 3σ)， x 為權重移動平均數， y 為總閃電率以每分鐘或兩分鐘平均作計算，舉例而言，Gatlin2010A1_N6_1m 表示使用逐分鐘總閃電率及權重移動平均數為 6 的條件下，以式(3)定義是否達到閃電躍升門檻值所組合的一種演算法。

三、分析結果與討論

(一) 對流胞與測站的坐標觀點探討

本研究針對跟隨對流胞移動與定點於某測站的兩種坐標觀點進行閃電躍升分析。由美國國家氣象局(National Weather Service)的氣象發展實驗室(Meteorological Development Laboratory)所開發的SCAN (The System for Convection Analysis and Nowcasting)系統，並由中央氣象局引進與本土化開發，其主要功能為即時監測與分析雷暴系統的活動，且提供極短期決策輔助資訊。此系統是利用 SCIT (Storm Cell Identification and Tracking; Johnson et al. 1998)演算法進行對流胞的定義及追蹤，於是藉助此系統的對流胞追蹤辨識資料，並結合 TPCLDS 的閃電資料，以距離對流胞中心半徑 10 公里內逐分鐘之總閃電率分析閃電躍升。一般對流胞的直徑約為數公里至數十公里，美國 NOAA 網站指出有關 SCAN 系統對流胞 CG 閃電率的估計方式（參考：<http://www.nws.noaa.gov/mdl/scan/test2/cgRatepPos.htm>），氣象局 SCAN 系統對流胞閃電率的估計方式亦是取距離對流胞中心半徑 10 公里範圍內的閃電。本研究參照上述資訊，取半徑 10 公里範圍進行分析，並於後續之「閃電偵測範圍選定」再探討擴大範圍之影響。

以 2014 年 6 月 3 日鋒面事件為例，圖 4(a)為此事件經過嘉義站附近之七股雷達編號 T6 對流胞的閃電躍升分析結果。圖 4 做法為將對流胞坐標內插至各分鐘，並取對流胞坐標周圍 0.1 度(10 公里)之 TPCLDS 閃電資料計算總閃電率，降雨亦為對流胞坐標周圍 0.1 度(10 公里)之 QPESUMS 網格降雨強度取平均（單位：mm/10mins）。因此，圖 4 所示為每分鐘跟隨對流胞移動之總閃電率與跟隨對流胞移動之降雨強

度，與對流胞閃電躍升（Gatlin2010A1_N10_1m 法）計算結果。

圖 4(a)中顯示當對流胞閃電率急遽上升，即發生閃電躍升（圖中紅色菱形標示），於 09:51 發生閃電躍升（Gatlin2010A1_N10_1m 法），晚於降雨達到 6mm/10mins 門檻之 09:41 時間。但圖 4(b)所示為同日清泉崗雷達編號 W1 對流胞的分析結果，於對流胞第一筆紀錄(07:52)即達總閃電率高峯，且同時降雨達到 6mm/10mins 門檻。推測造成上述 W1 對流胞現象之可能原因為 SCAN 系統以雷達回波達 30 dBZ 作為對流胞辨識門檻 (Johnson et al. 1998)，因此所辨識得之對流胞多是已伴隨有降雨產生，且無法追蹤對流胞被 SCAN 系統辨識出之前的閃電與跟隨對流胞移動之降雨強度。雖然以對流胞移動觀點，分析追隨對流胞的閃電和追隨對流胞降水的關係，在物理上應是合理的。但因上述 SCAN 系統的對流胞辨識門檻原因，目前分析所得之追隨對流胞的閃電和追隨對流胞降雨資料，可能不適用於閃電躍升分析，故再以測站的坐標觀點進行閃電躍升研究。

以相同的 2014 年 6 月 3 日鋒面事件針對定點於測站的坐標觀點，進行閃電躍升研究，取嘉義站半徑 10 公里內的閃電計算總閃電率，如圖 5 所示，總閃電率較降雨峰值提前，分析結果亦呈現於 10:18 發生閃電躍升，早於降雨達到 6mm/10mins 門檻之 11:10 時間，此結果顯示以測站觀點分析閃電躍升應為可行。當高強度對流胞逐漸向測站接近時，測站附近的閃電將急速增加，並於後續為該地區帶來高強度降雨。

(二) 總閃電率門檻值選定

由於總閃電率亦是發生劇烈雷暴的參考指標 (Williams et al. 1999)，Schultz et al. (2009)將事件

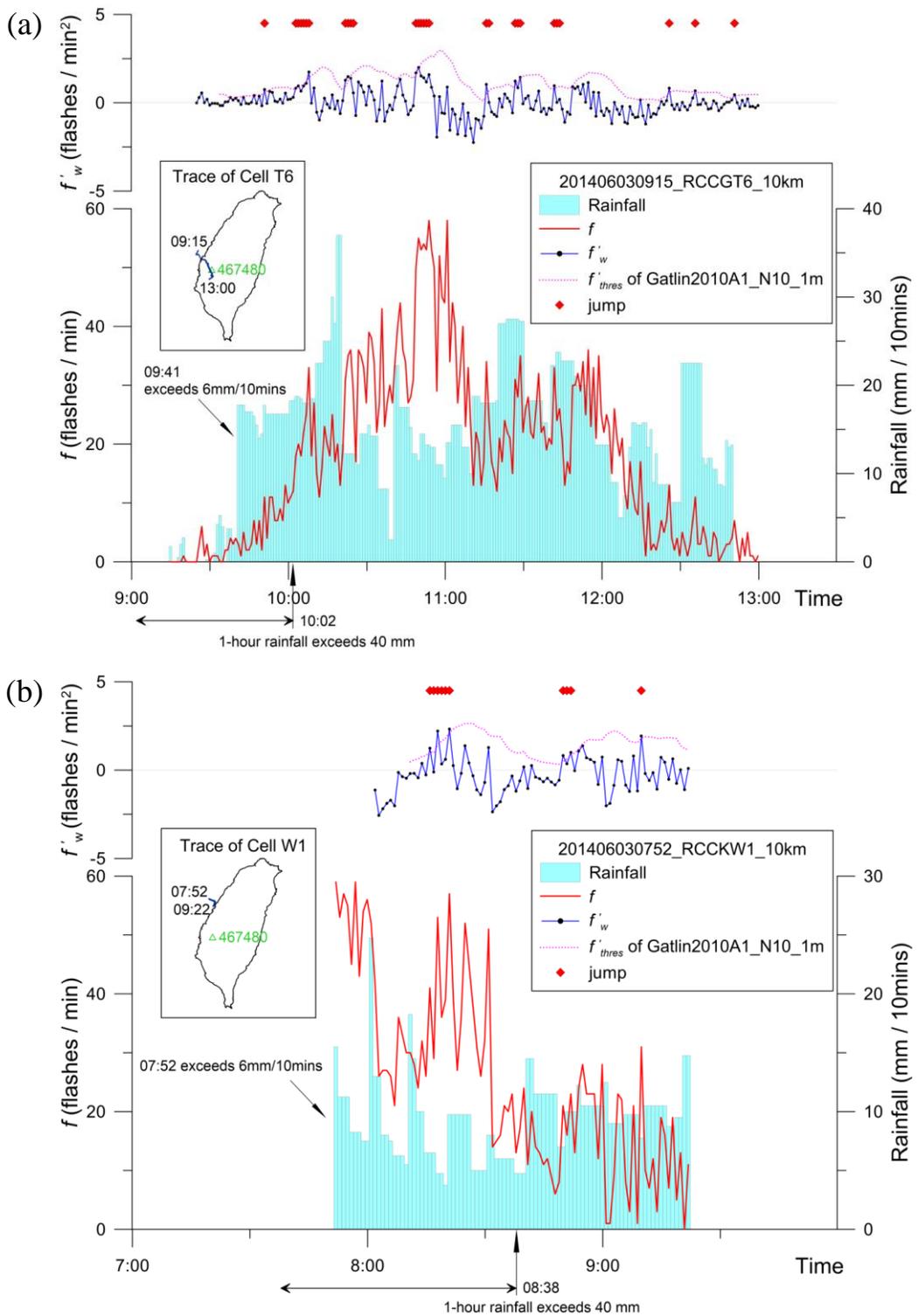


圖 4 2014 年 6 月 3 日鋒面降雨事件對流胞閃電躍升分析(Gatlin2010A1_N10_1m 法)與降雨時序圖：(a)七股雷達 T6 對流胞 (b)清泉崗雷達 W1 對流胞。

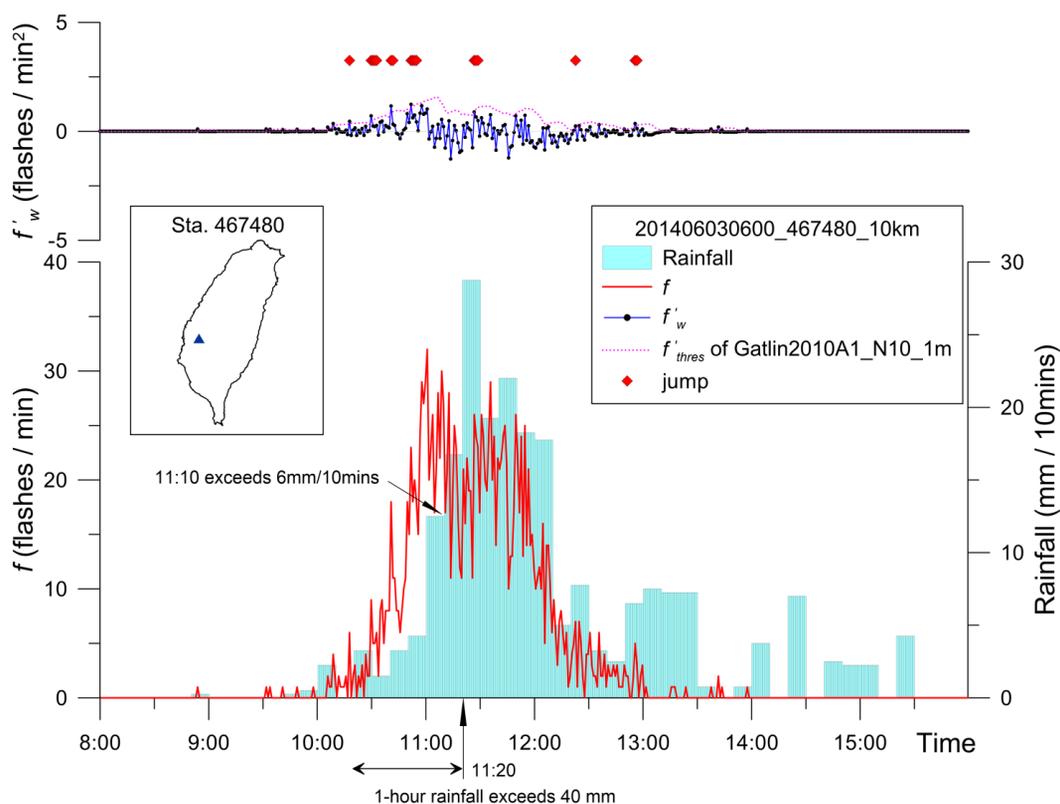


圖 5 2014 年 6 月 3 日鋒面降雨事件嘉義站閃電躍升分析 (Gatlin2010A1_N10_1m 法) 與降雨時序圖。

區分劇烈雷暴及非劇烈雷暴，統計總閃電率峰值以選定總閃電率門檻。文獻中是計算非劇烈雷暴之總閃電率峰值分布及累積機率百分比，並選定累積機率達 60% 之總閃電率峰值作為門檻。

本研究參考類似的統計作法，將 2013 年 5 月至 2017 年 4 月全臺本島人工測站，依氣象局最新修訂的豪大雨分級標準，挑選「未達大雨等級」的午後對流、鋒面降雨事件，配合半徑 10 公里及 20 公里之 TPCLDS 閃電偵測資料計算總閃電率，總閃電率峰值分布及累積機率如圖 6 所示。由圖 6(a) 可知，偵測範圍半徑 10 公里所計算累積機率達 60% 對應之總閃電率峰值接近 3fpm，選定 3 fpm 作為半徑 10 公里判定閃電躍升時之總閃電率門檻值 [$f_{thres}(t)$]。當偵測範圍半徑為 20 公里時

(圖 6(b))，累積機率達 60% 對應之總閃電率峰值接近 6 fpm，選定 6 fpm 作為半徑 20 公里判定閃電躍升時之總閃電率門檻值。換句話說， $f(t)$ 必須先達到 $f_{thres}(t)$ 的門檻以上，才會進行後續的閃電躍升判定。

而 CWBLDS，因觀測時間較短採用 2015 年 5 月至 2017 年 4 月閃電資料，其偵測範圍半徑 10、20 公里之總閃電率門檻，分別為 4 與 7 fpm (圖 7)。

(三) 閃電偵測範圍選定

為評估適合的閃電偵測範圍，選取半徑為 10 公里與 20 公里，並搭配其對應之總閃電率門檻值進行得分計算比較。

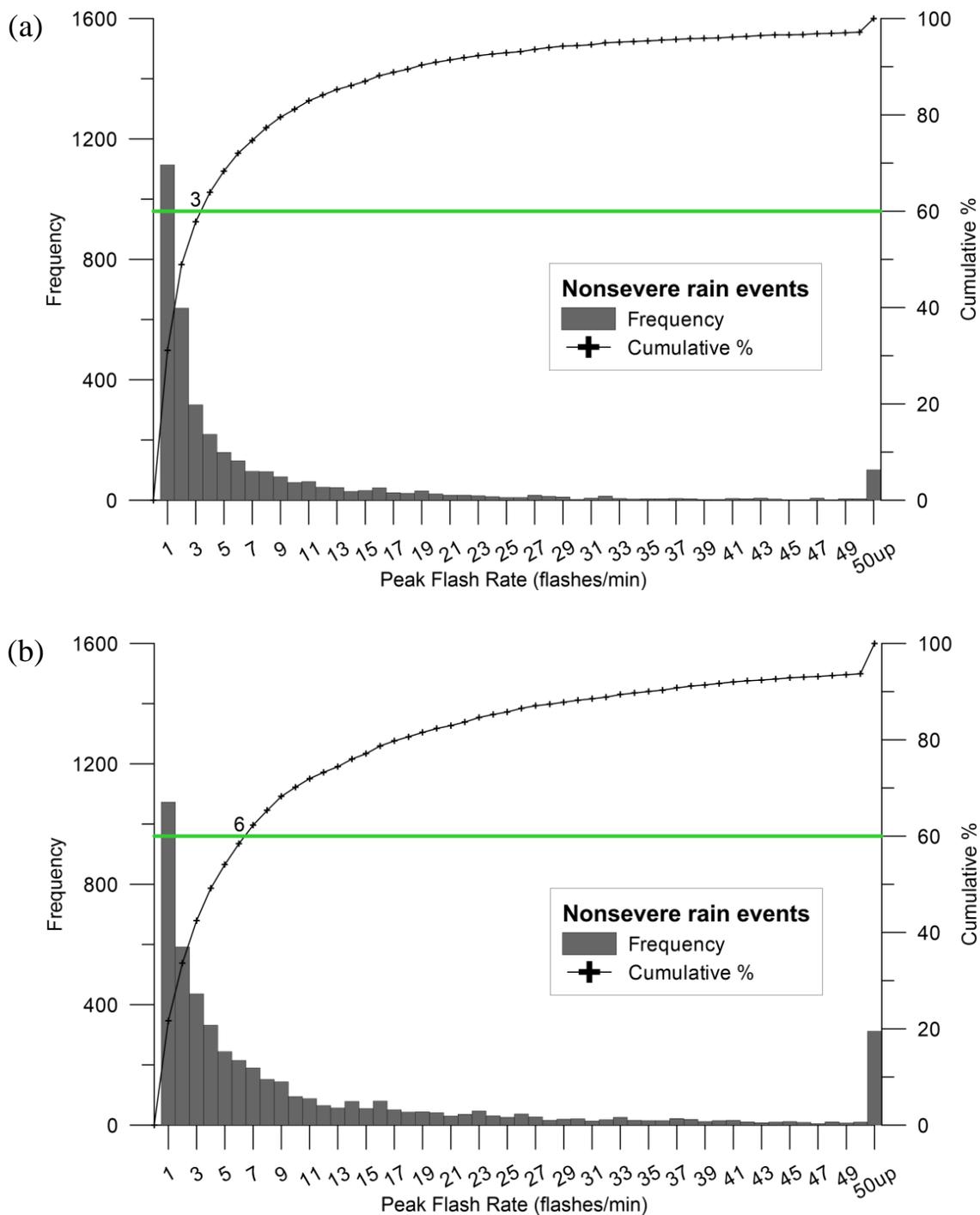


圖 6 2013 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站未達大雨等級午後對流、鋒面降雨事件之總閃電率峰值統計：(a)偵測範圍半徑 10 公里及(b)偵測範圍半徑 20 公里（閃電資料來源為 TPCLDS）。

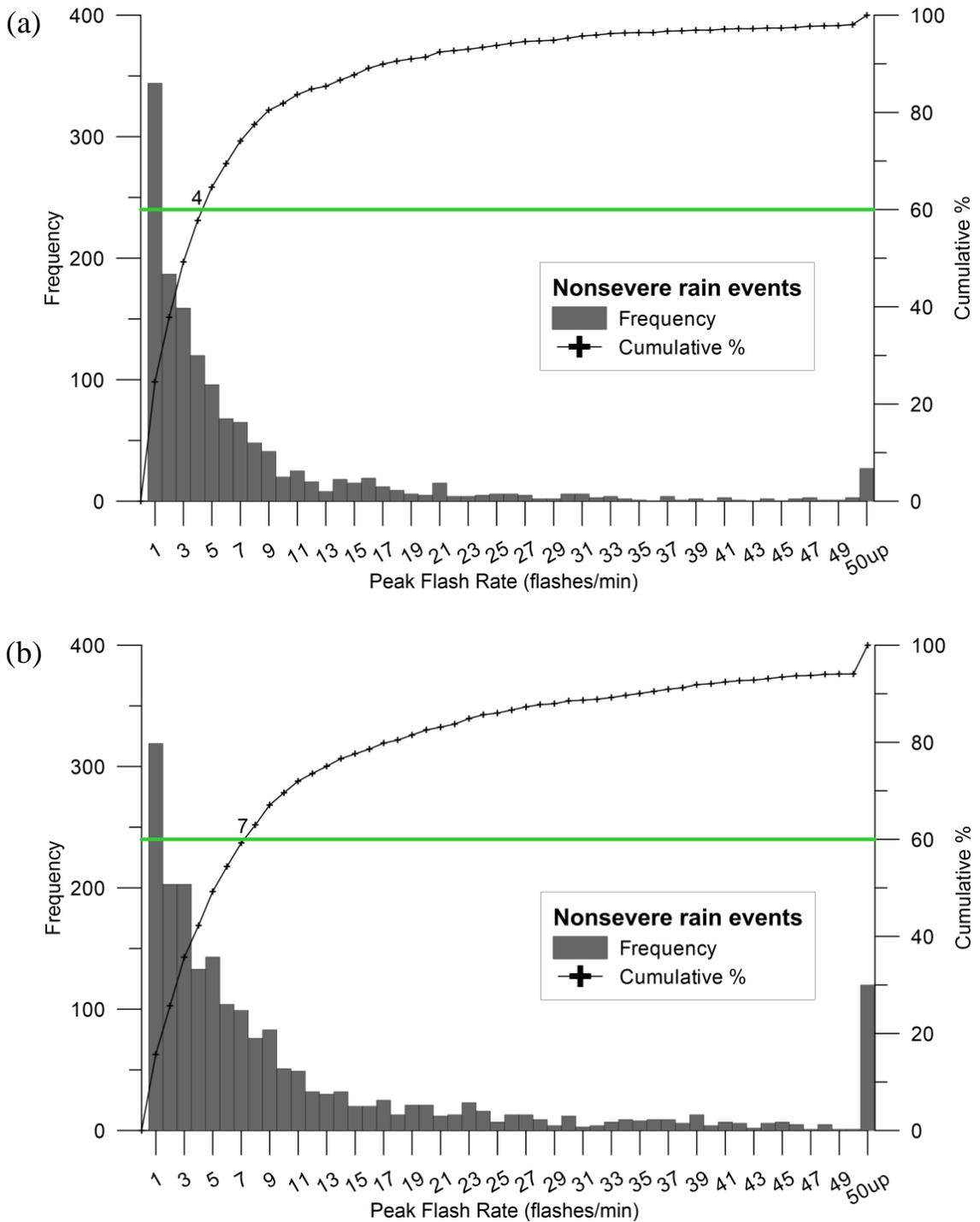


圖 7 2015 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站未達大雨等級午後對流、鋒面降雨事件之總閃電率峰值統計：(a)偵測範圍半徑 10 公里及(b)偵測範圍半徑 20 公里（閃電資料來源為 CWBLDS）。

由於「閃電偵測範圍選定」的分析是要選取適用的閃電資料以供後續選定閃電躍升演算法與參數之用，並期望即時能對降雨強度達到 6mm/10mins 門檻預警。考慮到若納入所有事件進行篩選，會有太多降雨事件不顯著的資料影響分數計算，所以僅採用「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件進行分析，事件開始與結束是以「前後 3 小時該測站無降雨」作判斷。

為量化評估降雨事件發生前的閃電躍升表現，使用表 3 二分法列聯表計算閃電躍升方法之得分技術得分。在降雨事件過程，依據每 10 分鐘的降雨強度，若某 10 分鐘的降雨強度達 6mm/10mins，則視為 1 次「10 分鐘降雨強度達 6mm/10mins」，累計所分析各降雨事件中每 10 分鐘達 6mm/10mins 次數，即為 hit+miss 數目。定義列聯表（表 3）中的命中值(hit)是 10 分鐘的降雨強度達到 6mm/10mins 門檻，且前 1 小時之內偵測到躍升；失誤值(miss)是有降雨強度達 6mm/10mins，但前 1 小時之內沒有偵測到躍升；誤報值(false alarm)是偵測到躍升之後 1 小時之內降雨

強度未達 6mm/10mins。透過此三個值可計算出對於閃電躍升得分評估的 POD、FAR 及 CSI 值 (Wilks 1995; Gatlin and Goodman 2010)算式說明如式(4)~式(6)式所示。

$$\text{可偵測機率 POD} = \frac{a}{a+c} \tag{4}$$

$$\text{誤報率 FAR} = \frac{b}{a+b} \tag{5}$$

$$\text{臨界成功指數 CSI} = \frac{a}{a+b+c} \tag{6}$$

1. 採用 TPCLDS 閃電資料躍升分析結果

使用 TPCLDS 總閃電資料，在偵測半徑 10 公里範圍及半徑 20 公里的技术得分如圖 8(a)及圖 8(b)所示，其中橫軸代表各種閃電躍升演算法與不同參數的 134 種搭配組合。就 CSI 分數比較，在分數較高的 Gatlin 法及 σ 法，Gatlin 法是半徑 10 公里略高於半徑 20 公里，而 σ 法是相近。同時，在 Gatlin 法及 σ 法，半徑 10 公里的 FAR 值低於半徑 20 公里。

圖 8 當 FAR 值為 NAN 時，表示演算法的躍

表 3 二分法列聯表。

每 10 分鐘 降雨強度 閃電躍升	降雨強度達到 6mm/10mins 門檻	降雨強度未達 6mm/10mins 門檻
發生閃電躍升	a, 命中發生(hit) : 6mm/10mins 降雨前 1 小時之內發生閃電躍升	b, 錯誤預警(false alarm) : 發生閃電躍升後 1 小時之內降雨強度未達 6mm/10mins
無發生閃電躍升	c, 失誤(miss) : 6mm/10mins 降雨前 1 小時之內無閃電躍升發生	d, 命中不發生(correct rejection)

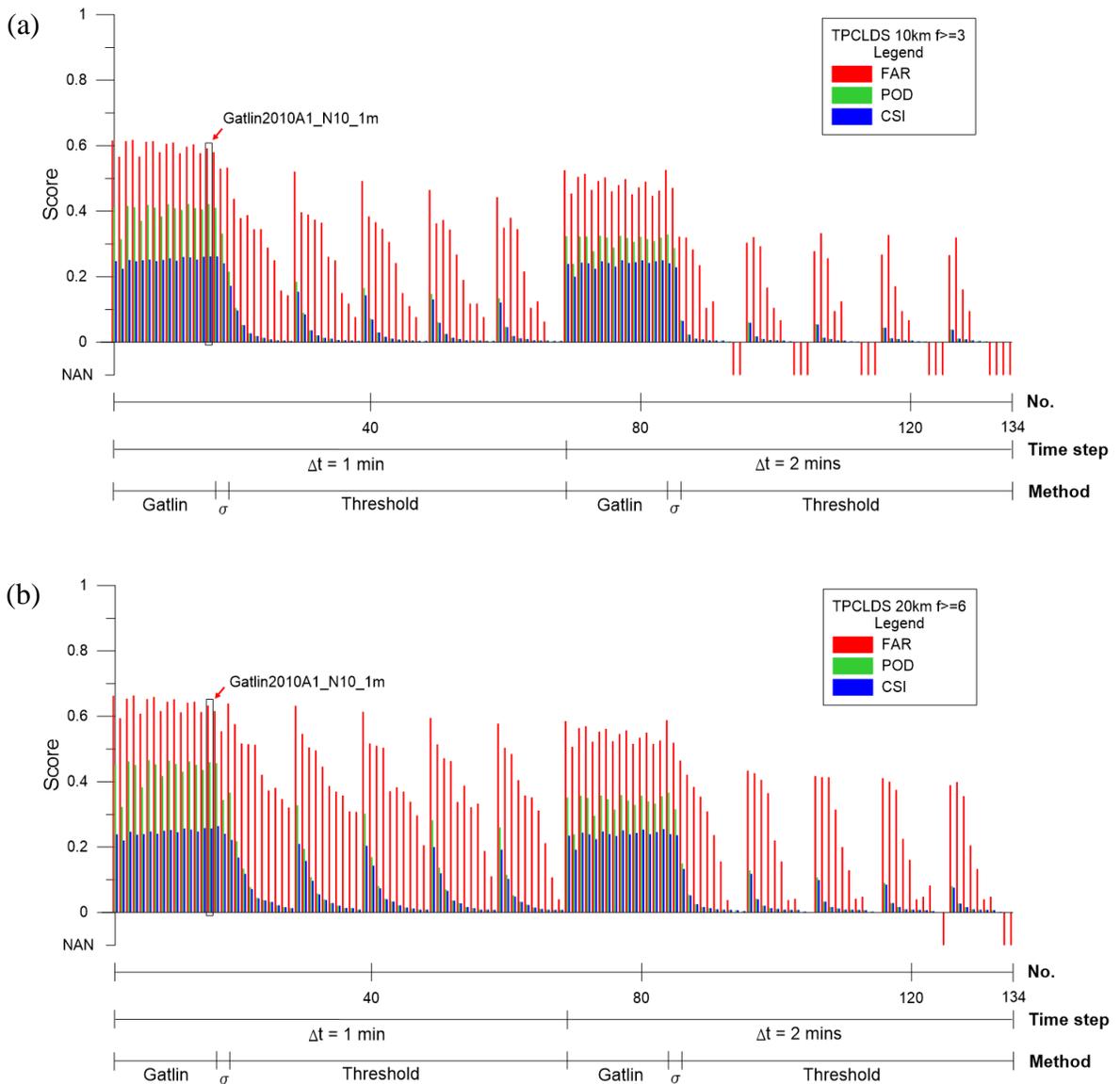


圖 8 不同閃電躍升演算法對 2013 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件之得分比較：(a)偵測範圍半徑 10 公里，總閃電率門檻值為 3 fpm，採用 TPCLDS 總閃電資料、(b)偵測範圍半徑 20 公里，總閃電率門檻值為 6 fpm，採用 TPCLDS 總閃電資料及(c)偵測範圍半徑 10 公里，雲中閃電率門檻值為 3 fpm，採用 TPCLDS 雲中閃電。橫軸代表各種閃電躍升演算法與不同參數的 134 種搭配組合。

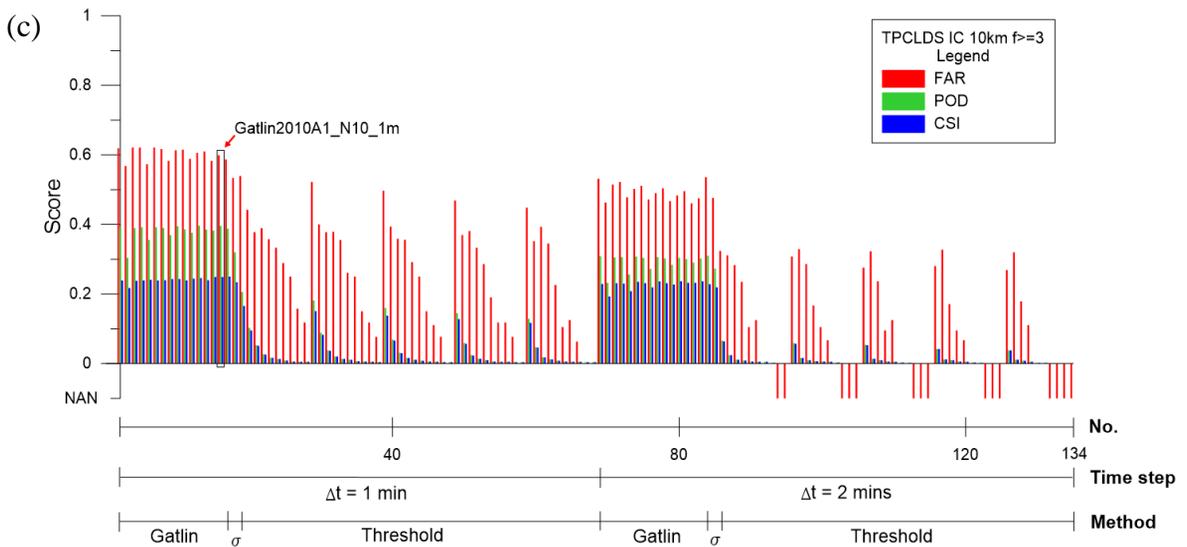


圖 8 (續)。

表 4 Gatlin2010A1_N10_1m 法 2013 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件取不同偵測範圍之得分比較 (閃電資料來源為 TPCLDS)。

閃電資料	偵測範圍	總閃電率 門檻 [$f_{thres}(t)$]	total	miss	false alarm	hit	FAR	POD	CSI
總閃電	10km	3 fpm	4,799	1,718	1,825	1,256	0.59	0.42	0.26
總閃電	20km	6 fpm	5,336	1,605	2,362	1,369	0.63	0.46	0.26
閃電資料	偵測範圍	雲中閃電 門檻 [$f_{thres}(t)$]	total	miss	false alarm	hit	FAR	POD	CSI
雲中閃電	10km	3fpm	4,738	1,795	1,764	1,179	0.60	0.40	0.25

升門檻值過高 (如 Threshold10_N10_2m 法), 任何事件閃電皆無法達到此門檻值, 將使降雨強度達 6mm/10mins 時, 前 1 小時之內偵測不到躍升; 意即各次「10 分鐘降雨強度達 6mm/10mins」皆屬於 miss, 而 hit 數與 false alarm 數為 0, 使得 FAR 的計算為 NAN。表 4 以 Gatlin2010A1_N10_1m 法為例列出各項得分, 半徑 10 公里的 FAR 值比半徑 20 公里低 0.04, CSI 值相同, POD 得分低 0.04。

另外, 由於前人研究有採用總閃電資料 (Gatlin 2006; Schultz et al. 2009; Gatlin and Goodman 2010)與 IC 資料 (戴等 2015; 戴等 2017) 進行閃電躍升相關研究, 林(1999)研究亦指出 CG 對於地面降雨應沒有領先時間, 因此本研究嘗試以所取得臺灣地區總閃電 (IC 加上 CG) 數量及單以 IC 之數量, 探討對閃電躍升技術得分的影響。由於圖 2 的結果顯示在午後對流、鋒面天氣整體呈現 TPCLDS 偵測的 IC 數量明顯高於 CWBLDS, 因

此取 TPCLDS 觀測資料作進行總閃電與雲中閃電的躍升分析。比較 TPCLDS 總閃電(圖 8(a))與 TPCLDS 雲中閃電(圖 8(c))的技術得分,以表現較好的 Gatlin 法及 σ 法而言得分接近,此二類方法在 TPCLDS 總閃電 FAR、CSI 及 POD 的得分範圍分別為 0.45~0.62、0.20~0.26 及 0.24~0.42,而在 TPCLDS 雲中閃電 FAR、CSI 及 POD 的得分範圍分別為 0.46~0.62、0.19~0.25 及 0.23~0.40;以 Gatlin2010A1_N10_1m 法為例(表 4),TPCLDS 總閃電與的 FAR 值比 TPCLDS 雲中閃電低 0.01,CSI 值高 0.01,POD 值高 0.02。

故在本文分析策略下,藉由 TPCLDS 診斷閃電躍升時,分析以測站為中心、半徑 10 公里範圍內的閃電數量,得分比半徑 20 公里略高,而使用總閃電或單用 IC 對得分影響輕微。

2. 採用 CWBLDS 閃電資料躍升分析結果

使用 CWBLDS 總閃電資料,在偵測半徑 10 公里範圍及半徑 20 公里的技術得分如圖 9(a)及圖 9(b)所示。就 CSI 分數比較,在分數較高的 Gatlin 法及 σ 法,是半徑 10 公里優於半徑 20 公里。同時,在 Gatlin 法及 σ 法,半徑 10 公里的 FAR 值也低於半徑 20 公里。以 $2\sigma_{1m}$ 法的各項得分為例(表 5),半徑 10 公里的 FAR 值比半徑 20 公里低 0.08,CSI 值高 0.03,POD 得分相同。

故在本文分析策略下,藉由 CWBLDS 診斷閃電躍升時,分析以測站為中心、半徑 10 公里範圍內的閃電數量,得分表現較佳。

(四) 閃電躍升演算法及參數選定

以下依據(三)之「偵測範圍為半徑 10 公里」總閃電資料之閃電躍升得分,選定閃電躍升演算法與參數。

1. 採用 TPCLDS 閃電資料之演算法及參數選分析結果

為分析 TPCLDS 總閃電資料之閃電躍升演算法及參數選定結果,本研究以序位法將各躍升演算法得分進行排名。序位法為分別依 FAR、POD 及 CSI 分數的優劣排名,亦即各方法依 FAR、POD 及 CSI 分數有 3 個排名,此 3 個排名加總最小者視為表現最好,表現較佳的前 15 種閃電躍升演算法如表 6 所示。

根據表 6 結果,以 TPCLDS 總閃電資料的閃電躍升演算法篩選分析如下:

- (1) $\Delta t = 1$ 分鐘計算之得分表現會較 $\Delta t = 2$ 分鐘好。
- (2) Gatlin 法、Threshold 法及 σ 法三大類方法中,以 Gatlin2010A1 法表現最好(POD 為 0.42、CSI 為 0.26、FAR 則為 0.59),其次分別是 2σ 法與 Gatlin20102C 法。在 Gatlin2010A1 法以 $N = 10$ 之得分最高,其次是 $N = 9$,而權重移動平均在 6~10 分鐘範圍,對 Gatlin2010A1 法得分影響不明顯。
- (3) 由於 Gatlin2010A1_N10_1m 採用 $\Delta t = 1$ 分鐘、10 分鐘權重移動平均,於 FAR、POD 及 CSI 序位法排名最佳,為採用 TPCLDS 總閃電資料時,本研究建議較適用之方法。

2. 採用 CWBLDS 閃電資料之演算法及參數選分析結果

為分析 CWBLDS 總閃電資料之閃電躍升演算法及參數選定結果,以序位法表現較佳的前 15 種閃電躍升演算法如表 7 所示。

根據表 7 結果,以 CWBLDS 總閃電資料的閃電躍升演算法篩選分析如下:

- (1) $\Delta t = 1$ 分鐘計算之得分表現會較 $\Delta t = 2$ 分鐘好。

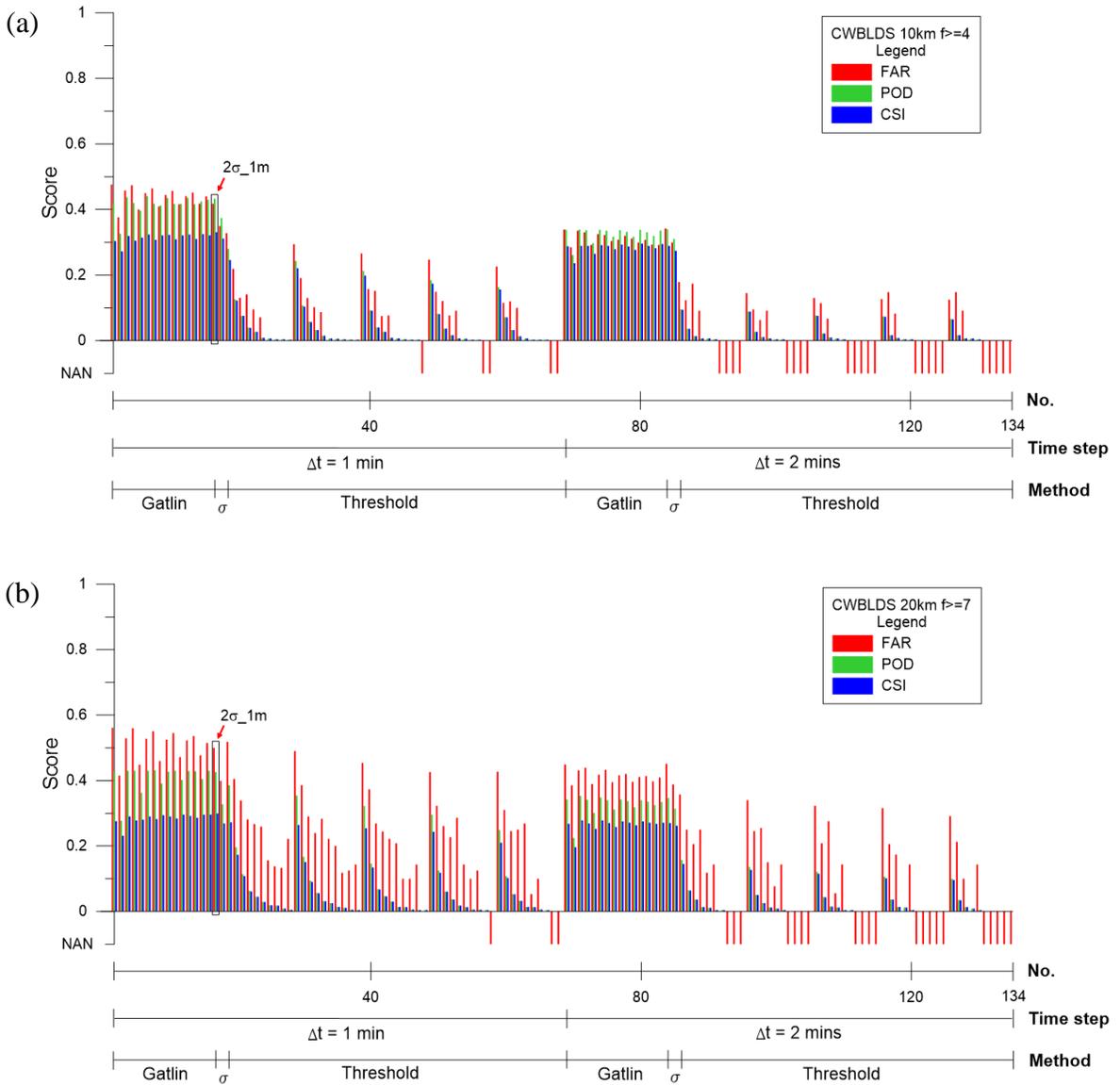


圖 9 不同閃電躍升演算法對 2015 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件之得分比較：(a)偵測範圍半徑 10 公里，總閃電率門檻值為 4 fpm，採用 CWBLDS 總閃電資料及(b)偵測範圍半徑 20 公里，總閃電率門檻值為 7fpm，採用 CWBLDS 總閃電資料。橫軸代表各種閃電躍升演算法與不同參數的 134 種搭配組合。

表 5 $2\sigma_{1m}$ 法 2015 年 5 月至 2017 年 4 月全臺人工站「有閃電且降雨強度達 6mm/10mins 以上」之午後對流與鋒面事件取不同偵測範圍之得分比較（閃電資料來源為 CWBLDS）。

閃電資料	偵測範圍	總閃電率 門檻 $[f_{thres}(t)]$	total	miss	false alarm	hit	FAR	POD	CSI
總閃電	10km	4 fpm	1,818	786	431	601	0.42	0.43	0.33
總閃電	20km	7 fpm	1,977	796	590	591	0.50	0.43	0.30

表 6 採用 TPCLDS 總閃電資料以序位法篩選表現較佳前 15 種閃電躍升演算法與參數。

閃電躍升演算法與參數	TPCLDS						
	總排序	FAR		POD		CSI	
		得分	排序	得分	排序	得分	排序
Gatlin2010A1_N10_1m	1	0.592	77	0.422	1	0.262	1
Gatlin2010A1_N9_1m	2	0.597	78	0.422	1	0.259	4
$2\sigma_{1m}$	3	0.580	76	0.410	7	0.262	1
Gatlin2010A1_N8_2m	3	0.480	61	0.325	15	0.250	8
Gatlin2010A1_N10_2m	4	0.463	57	0.319	20	0.250	8
Gatlin20102C_N10_1m	5	0.577	75	0.406	9	0.261	2
Gatlin2010A1_N9_2m	5	0.473	60	0.322	18	0.250	8
Gatlin2010A1_N8_1m	6	0.606	80	0.421	2	0.256	5
Gatlin20102C_N10_2m	6	0.447	53	0.309	23	0.247	11
Gatlin20102C_N9_1m	7	0.577	75	0.404	10	0.260	3
Gatlin2010A1_N7_2m	8	0.492	63	0.325	15	0.247	11
Gatlin20102C_N9_2m	9	0.452	54	0.306	24	0.244	12
Gatlin2010A1_N7_1m	10	0.612	82	0.419	3	0.252	6
Gatlin2006A3_N10_1m	11	0.604	79	0.409	8	0.252	6
Gatlin2010A1_N6_1m	12	0.614	83	0.416	4	0.251	7

表 7 採用 CWBLDS 總閃電資料以序位法篩選表現較佳前 15 種閃電躍升演算法與參數。

閃電躍升演算法與參數	CWBLDS						
	總排序	FAR		POD		CSI	
		得分	排序	得分	排序	得分	排序
$2\sigma_{1m}$	1	0.418	57	0.433	4	0.331	1
Gatlin2010A1_N7_1m	2	0.450	61	0.441	1	0.324	3
Gatlin2010A1_N9_1m	2	0.441	59	0.435	3	0.324	3
Gatlin20102C_N10_1m	2	0.418	57	0.425	6	0.325	2
Gatlin2010A1_N8_1m	3	0.444	60	0.435	3	0.323	4
Gatlin2010A1_N10_1m	4	0.440	58	0.430	5	0.321	5
Gatlin2010A1_N9_2m	5	0.299	39	0.338	16	0.296	14
Gatlin2010A1_N10_2m	5	0.292	36	0.336	18	0.295	15
Gatlin20102C_N9_1m	6	0.416	56	0.417	9	0.321	5
Gatlin20102C_N8_1m	7	0.409	55	0.412	11	0.321	5
Gatlin2010A1_N6_1m	8	0.458	64	0.437	2	0.319	6
Gatlin20102C_N7_1m	9	0.400	54	0.397	12	0.314	7
$3\sigma_{1m}$	9	0.350	52	0.374	13	0.311	8
Gatlin2010A1_N8_2m	10	0.308	42	0.337	17	0.293	16
Gatlin2010A1_N7_2m	11	0.325	46	0.338	16	0.291	17

- (2) Gatlin 法、Threshold 法及 σ 法三大類方法中，以 2σ 法表現最好 (POD 為 0.43、CSI 為 0.33、FAR 則為 0.42)，其次分別是 Gatlin2010A1 與 Gatlin20102C。而 Gatlin2010A1 以 $N = 7$ 及 9 之序位法排名較高，權重移動平均在 6~10 分鐘範圍，對 Gatlin2010A1 法得分影響不明顯。
- (3) 由於 $2\sigma_{1m}$ 採用 $\Delta t = 1$ 分鐘、 $N = 10$ ，於 FAR、POD 及 CSI 序位法排名最佳，為採用 CWBLDS 總閃電資料時，本研究建議較適用之方法。

四、結論

使用臺灣地區之閃電資料來進行閃電躍升計算，經由技術得分評估，採用以測站為中心，「半徑 10 公里」範圍內的「總閃電資料」，配合設定「總閃電率門檻值」，於「Gatlin 法」、「Threshold 法」及「 σ 法」三大類方法 (Gatlin 2006; Schultz et al. 2009; Gatlin and Goodman 2010)，挑選適用的閃電躍升演算法與參數。使用 TPCLDS 系統 (2013 年 5 月至 2017 年 4 月期間) 總閃電資料，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，評估閃電躍升是否領先「10 分鐘降雨強度達 6mm/10mins」，且領先時間於 1 小時之內的技術得分，顯示以 Gatlin (2010) 提出之演算法，採用 10 分鐘權重移動平均及 $\Delta t = 1$ 分鐘的技術得分表現最佳 (POD 為 0.42、CSI 為 0.26、FAR 則為 0.59)，為本研究建議方法。在相同分析策略，使用 CWBLDS 系統 (2015 年 5 月至 2017 年 4 月期間) 總閃電資料，顯示以 Schultz et al. (2009) 提出 2σ 方法，配合 $\Delta t = 1$ 分鐘的技術得分表現最佳 (POD 為 0.43、CSI 為 0.33、FAR 則為 0.42)，為本研究建議方法。

臺灣現有台電公司與氣象局所建置的兩種閃電落雷偵測系統，由於儀器站位置與閃電定位原理不同，致使兩者系統偵測之閃電型式、數量及定位皆有差異，整體呈現 TPCLDS 偵測的 IC 數量明顯高於 CWBLDS。若未來能擴充現有設備與偵測站網，對於增加閃電偵測類型的敏感度以及提高閃電定位準確度應有所幫助，亦能提供完整即時閃電監測資料。未來研究將著重於閃電躍升對於不同天氣類型之降雨領先時間探討，並將分析拓展至全臺灣測站。期許未來可以應用即時閃電資料，計算閃電躍升發生之區域範圍，並提供相對應之降雨發生機率，作為區域降雨預警之參考。

致謝

本研究在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」支援下完成；並感謝兩位審查者的寶貴建議。

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。
- 林熿閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。大氣科學，27，1，75-98。
- 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。
- 譚振威，2006：臺灣地區閃電與降雨的分類及其氣候特徵。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，120 頁。
- 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.
- Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Eilts, and K. W. Thomas, 1998: The Storm Cell Identification and Tracking (SCIT) algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Wea. Forecasting*, **13**, 263-276.
- 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.
- Wilks, D. S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 467 pp.
- 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.

A Study of the Lightning Jump Algorithm Adaptable in Taiwan for the Heavy Rainfall Prognosis

Ming-Sheng Yeh¹ Po-Hsiung Chang² Shin-Gan Chen²
Tim-Hau Lee³ Peng Yu¹

¹Manysplendid Infotech, Ltd.

²Central Weather Bureau

³Department of Civil Engineering, National Taiwan University

(manuscript received 4 September 2017 ; in final form 16 April 2018)

ABSTRACT

This study is to propose an applicable lightning jump algorithm with the parameters adapted in Taiwan for the heavy rainfall prognosis based on the lightning data of Taiwan Power Company Total Lightning Detection System (TPCLDS) and Central Weather Bureau Lightning Detection System (CWBLDS). Several previous studies have demonstrated that the lightning jump may occur in advance of the severe weather observed by people by few minutes. Thus, it can be indicative of a useful operational guidance for the severe weather potential.

In this study, the first part is about the lightning data adoption. Multiple perspectives that determine the optimal conditions of lightning jump algorithm are evaluated and compared, such as the threshold of total flash rate, the distance between lightning position and a station. Then, the algorithms and the parameter, which constitute 134 criteria based on different parameter combinations, was evaluated. The skills of lightning jump algorithms are verified using the contingency table between the lightning jump signal and the precipitation intensity (6mm/10mins). The result shows that the adaptability of lightning jump mechanism based on lightning detections surrounding the station appears more effective than that following a storm cell in terms of the lead time prior to significant rainfall. The radius of the lightning detection away from a station is taken as 10 km, and the total lightning is preferred. The algorithm given by Gatlin (2010) performs the most skillful based on the total lightning data TPCLDS (probability of detection, critical success index, and false alarm rate are about 0.42, 0.26, and 0.59, respectively). And, the algorithm given by Schultz et al. (2009) performs the most skillful based on the total lightning data CWBLDS (probability of detection, critical success index, and false alarm rate are about 0.43, 0.33, and 0.42, respectively).

Key Words: Lightning jump, Convective cell, Lightning detection system, Skill score of contingency table. doi: 10.3966/025400022017124504004