

臺灣地區閃電資料特徵與個案初步分析研究

中央氣象局105年天氣分析與預報研討會

鄭安孺¹ 張博雄² 陳新淦² 李天浩³ 葉明生¹ 陳怡玟¹ 于芃¹ 劉承翰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水的發生。兩胞閃電躍昇現象辨識可望作為預測局部地區即將發生豪大雨的指引，惟必須要有可靠閃電觀測數據。臺灣地區目前有中央氣象局以及臺灣電力公司兩套閃電偵測系統，兩系統由於設備與偵測站配置不同，觀測到的閃電資料性質有相當的差異。本研究以 2012 年 4 月至 2016 年 4 月的閃電資料，進行臺灣地區閃電特徵研究，並以氣象局閃電觀測資料為基準，探討臺電系統閃電資料與氣象局系統定位差距問題。研究結果顯示，臺灣地區閃電發生頻率最密集區域為北部及西部地區 1 千公尺以下山區和平地，時間集中於夏季 5 至 9 月間。午後對流系統的閃電活動最為活躍，鋒面兩次之，颱風時期閃電活動則最不顯著。強降雨發生時不一定伴隨高閃電數，故臺灣地區無法以閃電發生與否或閃電的數量來定義劇烈天氣發生的條件。臺電閃電偵測系統主要是觀測雲間閃電，而氣象局系統主要是偵測雲對地閃電，當鋒面兩胞系統距離臺灣遠，例如 100 公里以上，兩系統定位差距可能高達 40 至 50 公里，隨兩胞接近臺灣本島，定位差距逐漸降低，當兩胞到達臺灣地區上空，兩者定位差距呈現降至 5 公里內的結果。研究閃電躍昇現象應以雲間閃電資料為主，但必須要注意閃電定位與適用範圍問題。以臺電閃電資料進行降雨預測先導研究發現，無論鋒面或午後對流系統，兩胞閃電躍昇對於兩胞降雨沒有領先時間；若以測站周圍 20 公里的閃電觀之，則鋒面系統閃電躍昇較測站觀察到強降雨發生可能有數十分鐘的領先時間。

關鍵字：臺灣地區閃電分布特性、閃電躍昇

一、前言

強對流雷雨胞的對流發展過程中，常伴隨閃電與降水的發生，過去已有文獻對於臺灣地區的閃電及降雨進行研究，如林等(2006)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水。林(1999)以 5 分鐘時間解析度，分析全臺總降雨量與總閃電數的相關性，發現午後對流降雨跟閃電的相關性最佳，可達 0.94，但若有多種天氣系統影響則相關性不高；而高閃電密度的地區必會伴隨著強烈對流及降雨，但其相關係數與總閃電數的比值兩者皆變化劇烈，不易直接以閃電密度估計降雨量。除閃電與降水關係之研究外，閃電在氣候上的分布特徵亦是一項值得探討的議題。朱(2012)指出臺灣本島上落雷的空間分布整體主要沿中央山脈的西半部地區，分成北部與中南部兩區塊，北部大約從新北市、桃園至宜蘭之間，南部大約在南投南邊至屏東北邊之間。而譚(2006)分析 1989~2005 年臺灣颱風、對流系統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，雲間閃電與對流型降雨發生地點與範圍一致；而颱風型天氣對流系統個案中，閃電和強降雨沒有明顯的相關性。

雷雨胞生命週期可大致分為三階段：發展期、成熟期、消散期(圖 1)。Williams et al. (1999)統計 1996~1998 年美國佛羅里達地區劇烈雷雨 LDAR 系統所偵測到的總閃電行為，研究中發現劇烈雷雨事件最大閃電率會到達 60 fpm，而非劇烈雷雨的閃電率多為 1~10 fpm。於兩胞活躍期，閃電次數會快速增加，此現象稱為閃電躍昇現象，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。國內外許多研究亦指出，閃電躍昇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)，因此可將閃電躍昇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。

中央氣象局於 2015 年年初完成閃電偵測系統建置，臺灣電力股份有限公司亦有整合型閃電偵測系

統，若能妥善運用觀測資料於閃電躍昇研究，則有機會作為劇烈天氣之預報參考。本文將介紹臺灣地區現有閃電落雷偵測系統，並對閃電資料氣候特徵作初步分析，另針對個案做閃電躍昇應用探討。

二、臺灣閃電落雷偵測系統介紹

臺灣現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股份有限公司整合型閃電偵測系統，簡述如下：

(一) 中央氣象局閃電偵測系統

氣象局於 2015 年 4 月開始於臺灣地區 10 個氣象站增設閃電偵測系統，其中有五座位於臺灣本島，五座設於離島，分布位置如圖 2a 所示。使用之儀器為 TOA 公司的閃電偵測設備，規格如表 1 所示，主要使用到達時間差法(time difference of arrival, TDOA)定位閃電。

(二) 臺灣電力股份有限公司整合型閃電偵測系統

臺電公司自 2000 年開始於臺灣本島設置 8 座閃電偵測系統，於 2002 年 11 月完成並上線運作，其分布位置如圖 2b 所示。使用之儀器為 Vaisala 公司的閃電偵測設備，規格如表 1 所示，為整合磁場側向定位(magnetic direction finders, MDF)和到達時間法(time of arrival, TOA)來進行閃電定位。

由於氣象局與臺電公司閃電偵測系統之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。圖 3 為 2015 年 4 月至 2016 年 3 月間，分別對午後對流、鋒面雨及颱風事件符合豪大雨標準之測站，於事件發生期間的測站累積雨量與同時段測站周圍 10 公里內臺電公司以及氣象局的雲間閃電(IC)與雲對地閃電(CG)總閃電數分布圖。由圖可知，臺電與氣象局紀錄之閃電型式及數量差異甚大。以午後對流事件而言(圖 3a)，臺電 IC 最高紀錄可達上萬筆，CG 卻只有數十筆；而氣象局 IC 最多僅數百筆，CG 紀錄則可達兩千多筆。綜觀三種天氣類型，臺電 IC 數量明顯高於氣象局系統。

本研究統計 2016 年 4 月 13 日 07:42~10:00 間氣象局和臺電每 6 分鐘閃電數，並計算兩者閃電重心位置(閃電座標經、緯度個別取平均)的距離。於此案例中，雨帶由臺灣海峽向東移入臺灣，當雨帶距離臺灣較遠時，氣象局與臺電系統的閃電平均定位距離較大，最大可達 40 公里以上，隨著雨帶向臺灣本島接近，兩系統平均定位距離漸漸變小，最小可降至 5 公里內。圖 4 所示為取 2016 年 4 月 13 日 07:42、08:42、09:42 三個時間點 6 分鐘內氣象局與臺電閃電資料分布比較，其中，紅色十字所示為雲對地閃電 CG；而紅色實心圓所示為雲間閃電 IC。由圖可知臺電與氣象局閃電資料定位有差距，但離臺灣越近時差距越小，與計算結果一致，而造成此現象之原因可能為兩閃電偵測系統設置位置不同。

三、臺灣閃電分布特徵分析

若將閃電及降雨資料分為午後對流、鋒面雨及颱風等不同對流系統進行進一步探討，則由圖 3 可知，測站總降雨量大小與其周圍 10 公里內的總閃電數量多寡無特定相關性，但颱風事件閃電數較鋒面及午後對流事件少。當測站累積降雨約為 200 mm 時，午後對流事件測站周圍 10 公里內總閃電數最多可達 9000 筆，鋒面事件約 800 筆，颱風事件則最大不超過 400 筆。此外，颱風事件降雨量雖可達 800 mm，但其最高閃電數卻遠小於午後對流及鋒面雨事件。

為探討臺灣閃電於空間、時間之分布特性，本研究針對臺灣北、中、南、東地區各挑選一個測站(臺北站、日月潭站、嘉義站、花蓮站)，統計 2013 至 2015 年逐月平均測站雨量與測站周圍 10 公里內臺電偵測之平均閃電數，結果如圖 5 所示。此四個測站降雨及閃電主要集中於 5-9 月的暖季，臺北站 5~9 月的月平均累積雨量介於 400~600 mm 間，最高閃電數達 7900 筆(圖 5a)。而花蓮站的月平均總閃電數相較於其它測站則明顯較少(圖 5d)，且集中於 6 月發生。譚(2006)分析 1989~2005 年臺灣地區颱風、對流系統閃電與降雨特徵，指出閃電頻率多集中於 5~9 月，與本研究分析有類似結果。

圖 6 為統計 2015 年 4 月至 2016 年 3 月間午後對流及鋒面雨事件中臺灣地區每 0.1 度網格點內總閃電數量及累積雨量。圖中可觀察到東北部及南部地區累積雨量達 2000 mm，但閃電數量不超過 500 筆，顯示高累積雨量發生區域範圍並不一定有高閃電數。在午後對流事件中，閃電多發生於臺灣西部及北部 1000 公尺以下山區和平地，其中以臺北、南投山區頻率最高(圖 6b,c)，而東部地區除花蓮外，其它地區幾乎無午後對流閃電。由總閃電分布與累積雨量(圖 6a) 分布圖比較，可觀察到總閃電數與累積雨量發生區域範圍一致。而在鋒面事件中，鋒面降雨多發生於中央山脈西部山區和平地(圖 6d)，而閃電數則集中於西部 500 公尺以下平地(圖 6e,f)。

比較午後對流事件及鋒面事件，可發現午後對流事件中，氣象局與臺電偵測到的閃電資料分布較為一致，而鋒面事件中氣象局的閃電資料多分布於臺灣西部及外海(圖 6e)，東部地區閃電資料極少，而臺電資料則多集中於西北部及東部地區(圖 6f)。推測此現象與降雨型態及閃電偵測系統設置位置皆有關。氣象局於西部外海設置有 3 座偵測站，而東部地區僅蘭嶼一座(如圖 2a 所示)，因此東部地區偵測到的閃電資料較少；臺電系統偵測站則於本島東部設有較多測站(圖 2b)，因此對於東部閃電偵測能力較佳。又由於鋒面事件多屬西南氣流，其伴隨之鋒面受中央山脈影響，使主要對流系統在中央山脈西側已發展成熟或消散，因此鋒面事件型的對流發生

於東部地區的機會遠小於西部，故臺灣東部地區的閃電數較為稀少。

為探討閃電的發生是否會造成降雨，本研究選取 QPESUMS 網格資料與臺電閃電資料計算 2013-2015 年各網格半徑 20 公里內逐分鐘閃電數，統計當網格閃電率大於某特定值時，下一小時內網格觀測到的降雨量，將雨量資料排序後，計算超越機率分別為 50%、90%、以及 100% 所對應之降雨量。結果如圖 7 所示。圖 7a G12268 為嘉義站最近網格點，由圖可知於此網格案例中，閃電率達 50 flashes/min 時仍有可能未產生降雨；當閃電率達 5 flashes/min 時，有 50% 的機率有降雨產生，而當閃電率達 20 flashes/min 時，有 90% 的機率有降雨產生。圖 7b G00849 為公館站最近網格點，雖與嘉義站格點降雨差距甚大，但同樣在閃電率達 50 flashes/min 才定有降雨產生。

四、閃電躍昇個案探討

前人研究中分別提出不同閃電躍昇辨識算術法 (Goodman et al. 2005 ; Schultz et al. 2009 ; Gatlin and Goodman 2010 ; 戴等 2015)，本研究引用 Gatlin and Goodman (2010) 算術法進行閃電躍昇個案分析。以氣象局 SCAN (The System for Convection Analysis and Nowcasting) 系統提供之兩胞追蹤辨識資料結合臺電閃電資料，統計兩胞生命期中，距離兩胞中心 10 公里內逐分鐘之閃電率，選取閃電率達較大之案例，分析閃電躍昇對應於降雨的時序圖。圖 8a 所示為 2014 年 6 月 4 日鋒面雨事件於嘉義站造成豪大雨、編號 T6 之兩胞的分析結果，圖中顯示當兩胞閃電率急遽上升，即閃電躍昇期間(圖中紅色菱形標示時間)，降雨已發生，故於此鋒面雨兩胞案例之閃電躍昇對於降雨並無領先時間。圖 8b 所示為 2015 年 6 月 14 日午後對流事件於公館站造成豪大雨、編號 B0 之兩胞的分析結果，此午後對流兩胞案例中閃電躍昇對於降雨亦無領先時間。其他兩胞案例分析結果亦類似，此現象與國外經驗不同。推測原因可能是因為 SCAN 系統以迴波達 30dBz 作為門檻來辨識兩胞，因此所辨識得之兩胞間多是已有降雨產生。亦或是兩胞閃電躍昇出現相對於地面降雨發生確實無領先時間。

本研究另改以測站觀點，取測站 20 公里內閃電，探討閃電躍昇對應於降雨的關係。圖 9a 所示為 2014 年 6 月 4 日鋒面事件嘉義站的分析結果，此鋒面個案中閃電率峰值發生時間約領先降雨峰值約 30 分鐘；圖 9b 所示則為 2015 年 6 月 14 日午後對流事件公館站的分析結果，此午後對流個案中閃電率和降雨量幾乎同步達到峰值。推測兩事件結果不同之原因，在於鋒面兩胞為一移動系統，閃電躍昇顯示有活躍的兩胞進入距測站 20 公里的範圍內，之後才

會在測站觀測到強降雨；午後對流雷雨胞多於局部地區生長並消散，因此兩胞活躍期間即對該地區造成強降雨，亦使得測站可同時觀測到高閃電率與強降雨量。

五、結果討論

本研究探討臺灣地區閃電分布特性及以個案資料測試閃電躍昇於臺灣之適用性，得知臺灣地區閃電發生頻率最密集區域為北部及西部地區 1 千公尺以下山區和平地，時間集中於夏季 5 至 9 月間。午後對流系統的閃電活動最為活躍，鋒面兩次之，颱風時期閃電活動則最不顯著。降雨強度與總閃電數無特定相關性，有強降雨時不一定會伴隨閃電發生，偵測到高閃電率時發生降雨機率高，但不為必然。不同的觀測系統、天氣形態會影響閃電偵測與躍昇計算，但由個案測試可知，於兩胞觀測而言，閃電率變化、閃電躍昇辨識之於降雨較無領先時間；於測站觀測而言，降雨量增加期間可偵測到閃電躍昇；若偵測測站周圍之閃電，則有機會偵測到外部移入之活躍兩胞(如鋒面)，可能可以預測該地區後續將有強降雨的發生，而此後續需要更多閃電躍昇算術法與案例的研究。

六、參考文獻

- 朱延祥,2012 :強化災害性即時天氣預報－建置閃電偵測系統技術之研究案 101 年委託案期末報告，50 頁。
- 林品芳、張保亮、丘臺光、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論文彙編 (95 年)，5 頁。
- 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。
- 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。
- 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，第 43 期，第 2 號，115—132。
- 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., B. Boldi, A. Matlin, M. Weber, S.

表 1 臺灣地區兩種閃電落雷偵測系統的規格比較表

| | TOA 系統公司偵測站 (中央氣象局閃電偵測系統) | Vaisala 公司 (臺電整合型落雷偵測系統) |
|-------|------------------------------|---|
| 運算主機 | LPS200 | TLP200 |
| 感測器型號 | DSP-DF200 | SAFIR3000 (VHF/LF) TLS200 (VHF/LF/VLF) |
| 偵測距離 | 約 800 km | > 200 km |
| 閃電型式 | 主要為雲對地(CG)閃電 | 主要為雲內(IC)閃電 |
| 高頻偵測 | 40 MHz ~ 1 GHz | 110 ~ 118 MHz (TLS200) 112 ~ 117 MHz (SAFIR3000) |
| 低頻偵測 | 1.5 kHz ~ 400 kHz | 1 ~ 350 kHz |
| 通訊介面 | TCP/IP | TCP/IP |

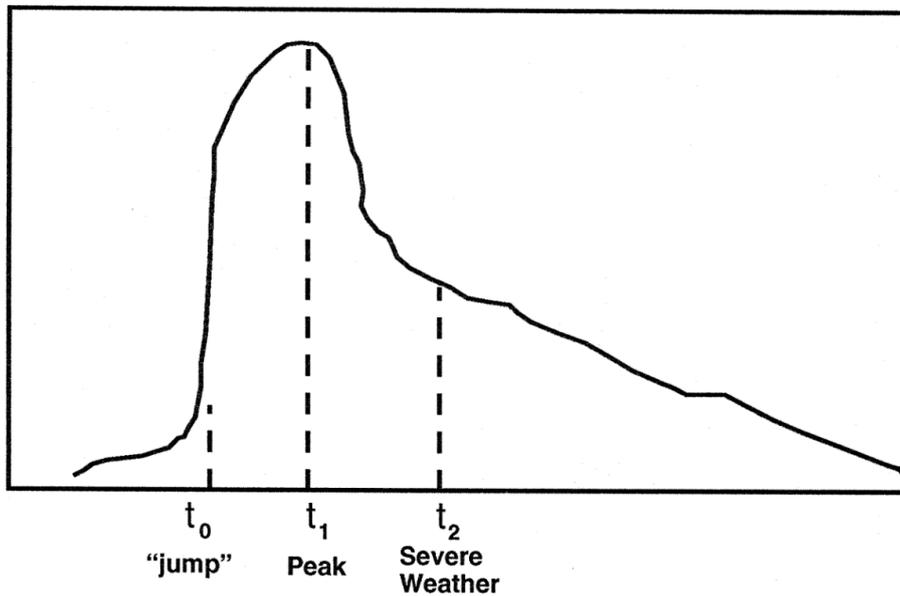


圖 1 雷雨胞閃電發展歷程示意圖 (摘自 Williams et al., 1999)



圖 2 臺灣閃電偵測系統偵測站的分布位置，(a)中央氣象局與(b)臺電公司。

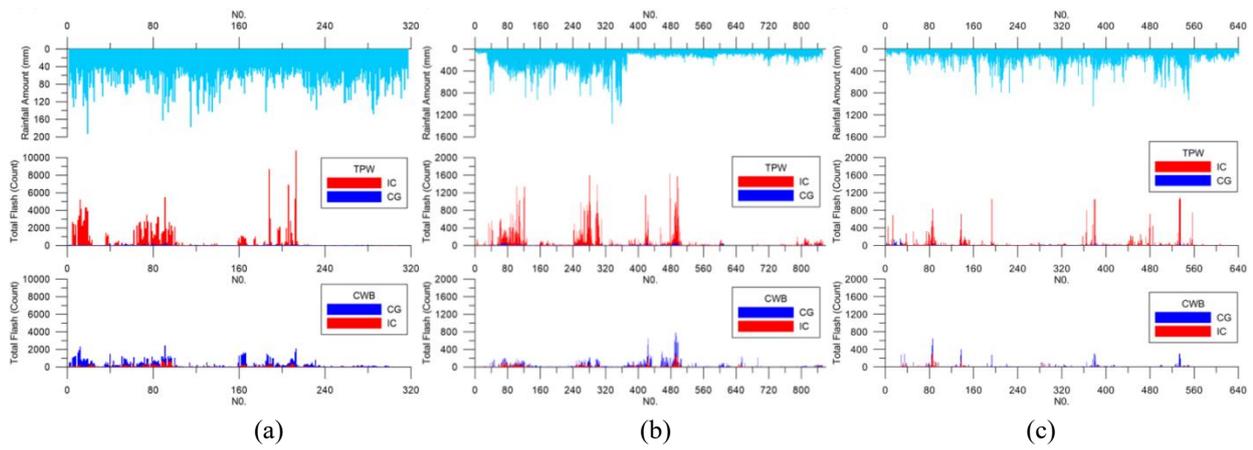


圖 3 針對 2015 年 4 月至 2016 年 3 月三種天氣類型統計累積雨量（上圖）與測站周圍 10 公里內臺電公司（中圖）及氣象局（下圖）系統的總閃電數：(a)午後對流事件、(b)鋒面雨事件及(c)颱風事件。橫軸為單一事件編號，IC 和 CG 分別以紅色和藍色長條標示。

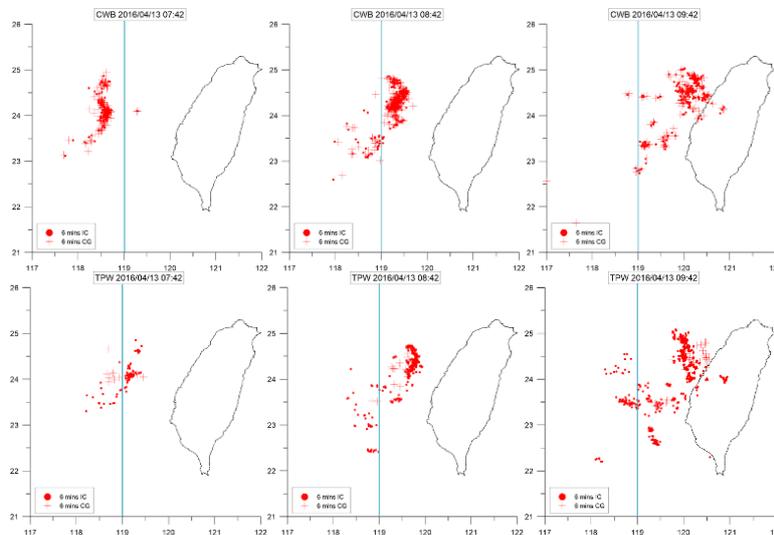


圖 4 本地時間 2016 年 4 月 13 日 07:42、08:42、09:42 前 6 分鐘內氣象局(上)與臺電(下)閃電資料分布比較

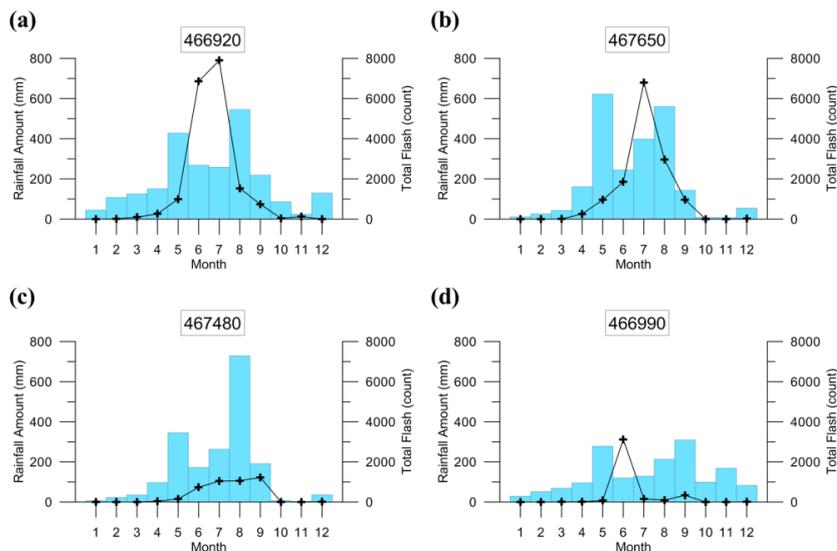


圖 5 統計四個測站由 2013 年至 2015 年逐月平均的測站雨量（藍色長條，左側標尺）與其周圍 10 公里內臺電公司系統的平均閃電數（黑色曲線，右側標尺）：(a)臺北站、(b)日月潭站、(c)嘉義站及(d)花蓮站。

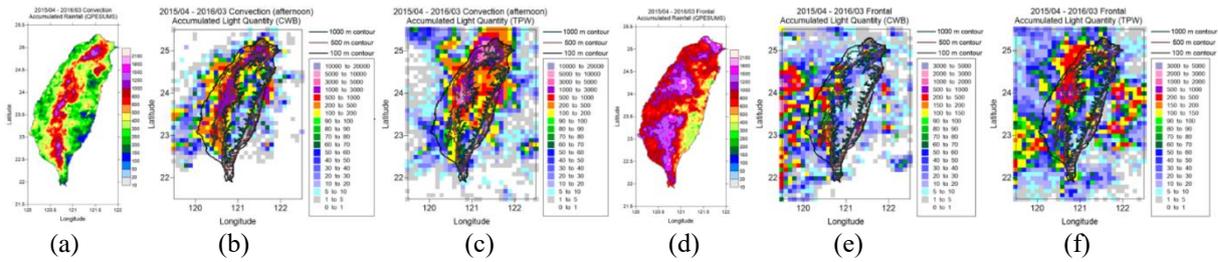


圖 6 由 2015 年 4 月至 2016 年 3 月期間 39 個午後對流事件（達大雨以上標準）統計(a)累積雨量(mm)、(b)氣象局系統總閃電數及(c)臺電公司系統總閃電數（每 0.1°網格點內數量）。(d)–(f)同圖(a)–(c)，但為同期間 31 個鋒面雨事件之統計。

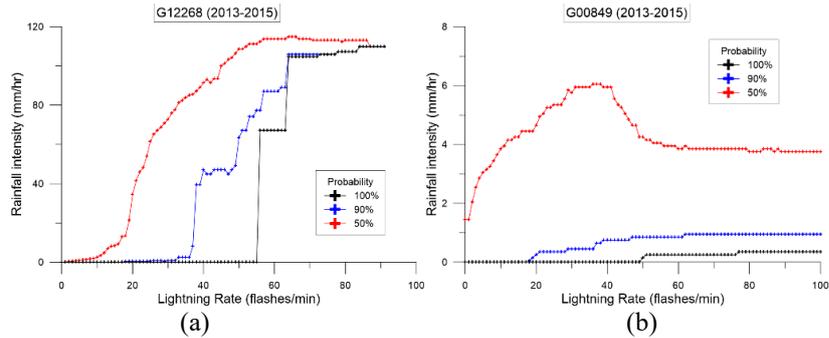


圖 7 2013-2015 網格閃電率與降雨發生機率統計：(a)G12268 嘉義站鄰近網格 (b)G00849 公館站鄰近網格

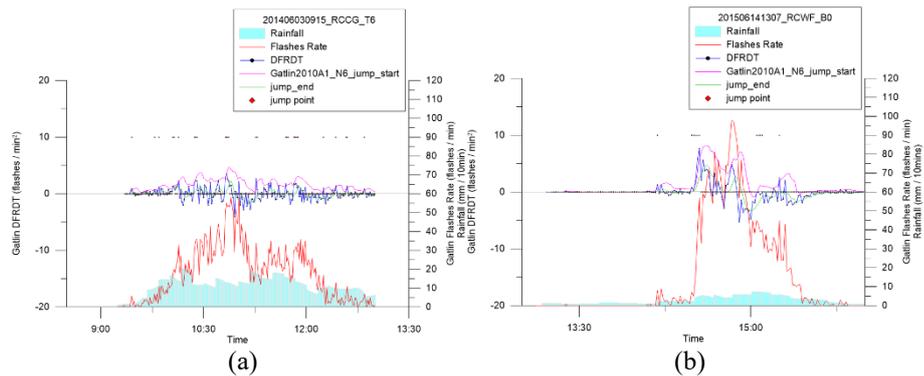


圖 8 雨胞及其所在位置 10 公里內閃電率時序圖：(a) 2014/06/03 鋒面降雨事件 T6 雨胞 (b) 2015/06/14 午後對流降雨事件 B0 雨胞；

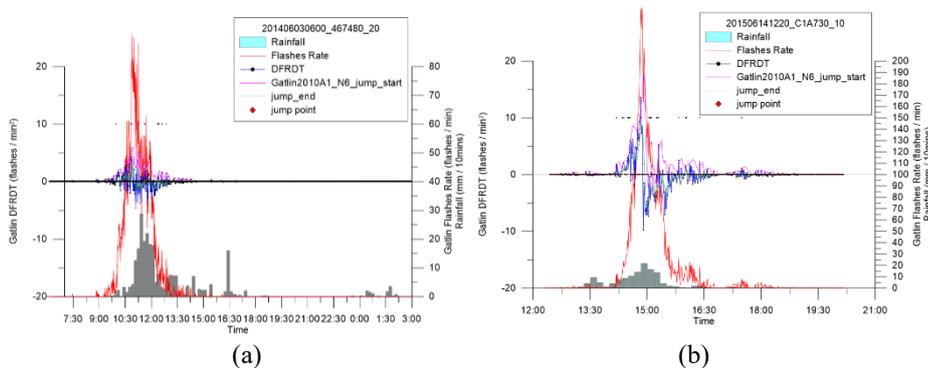


圖 9 測站與其周圍 20 公里內閃電率時序圖：(a)2014/06/03 鋒面降雨事件嘉義站 (b) 2015/06/14 午後對流降雨事件公館站