

閃電落雷偵測系統在雷雨觀測的應用

白意詩 楊啟瑞 李育棋

第二組

中央氣象局

摘要

中央氣象局於2015年完成閃電與落雷偵測系統(TOA)建置，迄今累積1年餘資料，遙測儀器呈現的閃電時空分布，與傳統人工以聽覺、視覺辨識後填報的雷雨報告表，所提供資訊的對映情形，為本文探究主軸。本研究統計2015至2016年全臺27個人工觀測站之雷雨報告表，及TOA系統偵測到的閃電資訊，比較2種方式之異同。第(一)部分將27個測站分為北部、中南部、東部山地和離島5區，觀測員觀測到雷聲或閃電的起始時間、距離、方位和強度與TOA系統所提供的資訊，以相關性的方式呈現。第(二)部分，測站觀察到的雷雨發生頻率，只能以「日數」來表示，然而分析TOA系統資料則可進一步探討閃電「Flash數」特徵。第(三)部分，雷雨報告表中填寫的「雷雨移動方向」欄位，在TOA系統中該如何認定哪些閃電為同一系統，本研究探尋定性的方式判斷閃電移動向量。

關鍵字：雷雨報告表、TOA

一、前言

雷電是一種時常與劇烈中小尺度系統伴隨的天氣現象，對其觀測的方式，從直接透過觀測員感官聽音視光之定性辨識，到間接透過地表上或太空衛星裝載遙測儀器偵測電磁波之定量計算，在氣象領域中追求更高的偵測率及定位準確度以協助作為天氣預報指引。中央氣象局(以下簡稱氣象局)自2002年以來開始以電腦資料數位建檔之地面氣象站雷雨報告表(Storm Report，以下簡稱SR)，並在2015年完成10座閃電偵測站，即五分山、新屋、日月潭、嘉義、高雄、彭佳嶼、馬祖、金門、東吉島和蘭嶼等，5個在臺灣本島、5個在離島，以TOA (Time of Arrival)原理構成1個既能涵括全臺、也能掌握附近海域範圍的偵測網絡。因此分析氣象局SR與TOA系統偵測相關性將呈現人工觀測與儀器監測計算之異同。

關於利用閃電資料增進劇烈天氣估計技術，過去研究表示閃電頻率高之地區通常對流及降水劇烈[林(1999); 林等(2006)]; 閃電次數高鋒期對地面劇烈降水存在領先時間(Leading Time)，因此可將閃電躍升

(Jump)訊號作為劇烈天氣即將發生之參考[Goodman et al. (2005); Schultz et al. (2009); Gatlin and Goodman (2010); 戴等(2015)]，Williams et al. (1999)統計1996年至1998年美國佛羅里達州LDAR (Lightning Detection and Ranging)系統閃電資料，提供劇烈雷雨事件之閃電率(Flash Rate)可達約60 fpm以上；譚(2006)統計1989年至2005年臺灣閃電空間分部特徵。故SR與TOA閃電空間分部特徵、偵測率交叉比對、分鐘閃電率和閃電躍升訊號領先比例等初步結果，將擴展閃電與落雷偵測系統在提升劇烈天氣預報技術層面上的應用。

二、人工雷電觀測與閃電偵測系統

氣象局在《地面氣象測報作業規範》18.4.2.1對雷雨報告表注意事項節錄如下：(1)僅聽到雷聲，但沒有下雨，亦需填報告。(2)僅見遠方閃電，但未聽到雷聲，免填。(3)在整日或數日連續下雨中，若部分時間有雷雨時，則雷雨開始時刻以初聞雷聲時為準，雷雨終止時刻取最後一次雷聲後15分鐘為準。(4)同一天內發生雷雨次數，合填一次報告。圖1為SR範例，其中

分鐘，故這裡將SR中填寫的最大10分鐘降雨時間加上5分鐘視為分鐘最大降雨時間。

四、分析結果

(一) SR與TOA系統偵測內容相關性

如圖3，SR初聞雷鳴時對映TOA測得距各測站最近閃電之平均距離為47.87 km，與雷雨報告經驗上最遠可填報至20-40 km數量級相近，最小的是臺北站12.21 km，最大的是蘭嶼站141.46 km，在分區測站當中，離島可聽聞雷鳴的距離普遍較大。如圖4，初聞雷鳴之方位，橫軸來自SR紀錄、縱軸從TOA測得，皆表示成360度數，相關係數採用Circular Correlation計算約0.457。人工觀測在判別雷之強弱時只有弱、中、強3級可供選擇，SR上填報的則是整個雷暴事件中出現過最強的強度，圖5橫軸為SR記錄的雷之強弱，右縱軸為距各測站半徑20 km內最大TOA分鐘閃電率，在834筆完整的SR中最大值145 fpm人工也判斷是強，人工SR判斷為弱、中、強的雷暴事件對映最大TOA分鐘閃電率平均也愈大，分別為10.9 fpm、18.5 fpm、28.7 fpm，左縱軸為上述最大閃電率在該分鐘內電流強度的平均，與SR之判斷無明顯相關。

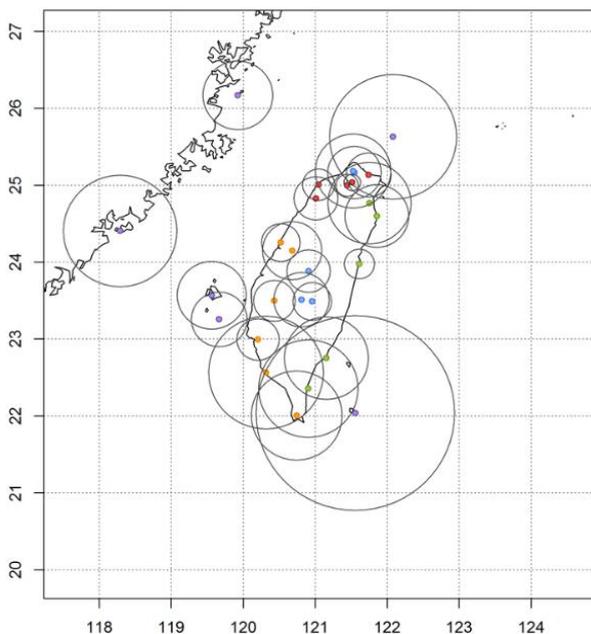


圖3 各測站SR初聞雷鳴時TOA CG平均最小距離。

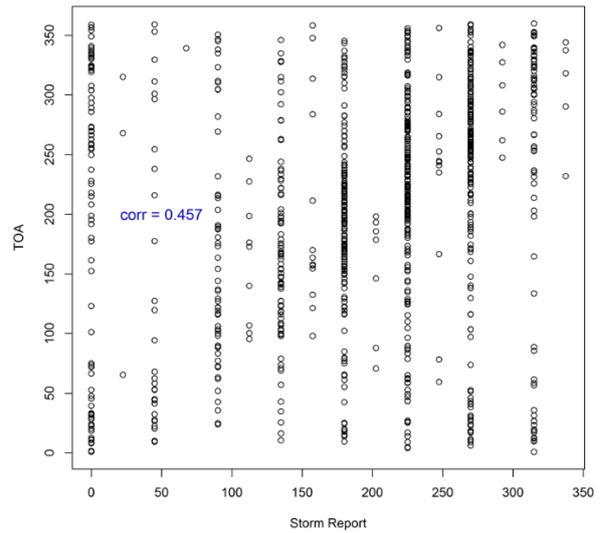


圖4 SR初聞雷鳴時記錄的方位(橫軸)及距各測站20 km半徑內TOA CG方位(縱軸)。

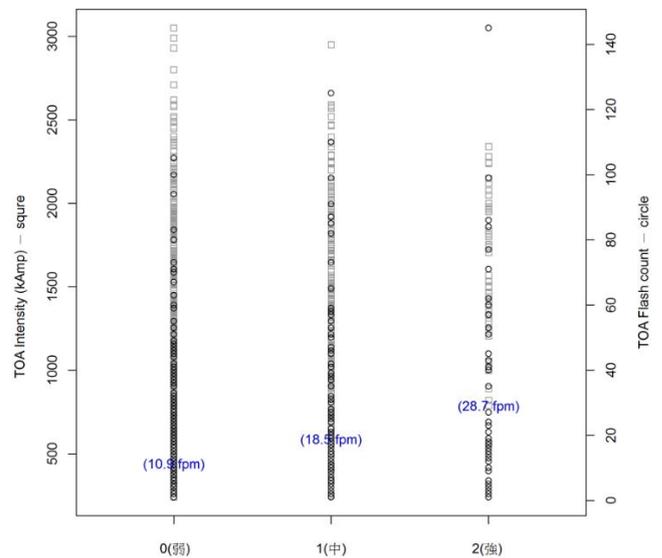


圖5 SR記錄的雷暴強度(橫軸)及距各測站20 km半徑內TOA CG平均電流大小(左縱軸)、分鐘閃電率Flash Rate(右縱軸)，藍色文字為各別平均閃電率。

(二) TOA系統在雷雨觀測的應用

2015年4月至2016年6月雷電發生頻率在臺灣的空間分布如圖6，上方為各測站的雷雨報告(SR)累計次數，顏色用以區分北、中南、東、山地和離島區域；下方為TOA系統測得每 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 網格內的閃電Flash累積次數，TOA掌握到的是臺灣北部盆地和雪山山脈之間及中南部玉山山脈以西等丘陵帶閃電頻率最高，大陸沿岸、東北部及西部外海有另外的極大值，可看

到許多Flash極大值附近測站SR數量相對較高。表2呈現偵測率交叉比對結果，各行分別表示所有測站雷雨報告的日數(Total_SR)、TOA系統於20 km半徑內偵測到有閃電的日數(Total_TOA)、有雷雨報告而TOA無閃電偵測的日數(SR1_TOA0)、無雷雨報告而TOA有閃電偵測的日數(SR0_TOA1)及雷雨報告和TOA偵測為同一天的日數(SR∩TOA)，有填報SR的日子TOA幾乎都有掌握到閃電，而在臺灣本島南部、東部和離島地區SR1_TOA0日數較多，此現象可能與圖3初聞雷鳴距離以及目前偵測站點在此地區較少致影響偵測率可能有關係，這些測站填報的雷暴可能在距測站遠大於20 km半徑外，但由於地形或空曠環境使得觀測員感官仍能辨識到雷暴，另外對所有測站而言，TOA偵測到CG閃電的日數都大於SR數目。各測站所有SR中出現的最大分鐘閃電率和閃電躍升訊號領先降兩次數(即閃電率高峰時間減最大降雨時間為負值的次數)、比例統計如表3，大臺北地區最大閃電率較大，與盆地效應的關聯有待確認，臺北、板橋、嘉義及花蓮4站最大閃電率超過100 fpm，而大部分測站閃電訊號領先比例都有50%以上。

表2 各測站SR及TOA偵測率交叉比對，即2者的差集及交集。

| stno | cname | total_SR | total_TOA | SR1_TOA0 | SR0_TOA1 | SR∩TOA |
|--------|-------|----------|-----------|----------|----------|--------|
| 466940 | 基隆 | 34 | 95 | 0 | 61 | 34 |
| 466920 | 臺北 | 57 | 104 | 1 | 48 | 56 |
| 466880 | 板橋 | 57 | 102 | 0 | 45 | 57 |
| 467050 | 新屋 | 24 | 63 | 1 | 40 | 23 |
| 467571 | 新竹 | 42 | 82 | 1 | 41 | 41 |
| 467490 | 臺中 | 43 | 102 | 1 | 60 | 42 |
| 467770 | 梧棲 | 20 | 71 | 0 | 51 | 20 |
| 467480 | 嘉義 | 66 | 126 | 4 | 64 | 62 |
| 467410 | 南區中心 | 28 | 85 | 0 | 57 | 28 |
| 467440 | 高雄 | 33 | 64 | 7 | 38 | 26 |
| 467590 | 恆春 | 11 | 30 | 3 | 22 | 8 |
| 467080 | 宜蘭 | 64 | 115 | 0 | 51 | 64 |
| 467060 | 蘇澳 | 21 | 81 | 1 | 61 | 20 |
| 466990 | 花蓮 | 25 | 56 | 0 | 31 | 25 |
| 467660 | 臺東 | 34 | 35 | 6 | 7 | 28 |
| 467540 | 大武 | 3 | 39 | 0 | 36 | 3 |
| 466930 | 竹子湖 | 43 | 89 | 0 | 46 | 43 |
| 466910 | 鞍部 | 42 | 83 | 2 | 43 | 40 |
| 467650 | 日月潭 | 86 | 131 | 1 | 46 | 85 |
| 467530 | 阿里山 | 55 | 108 | 1 | 54 | 54 |
| 467550 | 玉山 | 9 | 75 | 1 | 67 | 8 |
| 466950 | 彭佳嶼 | 20 | 21 | 5 | 6 | 15 |
| 467990 | 馬祖 | 45 | 57 | 7 | 19 | 38 |
| 467110 | 金門 | 44 | 60 | 7 | 23 | 37 |
| 467350 | 澎湖 | 43 | 52 | 3 | 12 | 40 |
| 467300 | 東吉島 | 25 | 29 | 16 | 20 | 9 |
| 467620 | 蘭嶼 | 15 | 10 | 11 | 6 | 4 |

表3 各測站最大閃電率及領先最大降雨時間之比例。

| stno | cname | maxLgtCount | minusLgt-Rain TimeCount |
|--------|-------|-------------|-------------------------|
| 466940 | 基隆 | 77 | 26 (70.3%) |
| 466920 | 臺北 | 100 | 38 (67.9%) |
| 466880 | 板橋 | 145 | 30 (56.6%) |
| 467050 | 新屋 | 86 | 16 (69.6%) |
| 467571 | 新竹 | 55 | 32 (78.0%) |
| 467490 | 臺中 | 110 | 33 (71.7%) |
| 467770 | 梧棲 | 31 | 9 (45.0%) |
| 467480 | 嘉義 | 105 | 27 (51.9%) |
| 467410 | 南區中心 | 67 | 19 (63.3%) |
| 467440 | 高雄 | 20 | 22 (71.0%) |
| 467590 | 恆春 | 13 | 4 (44.4%) |
| 467080 | 宜蘭 | 60 | 39 (69.6%) |
| 467060 | 蘇澳 | 60 | 16 (72.7%) |
| 466990 | 花蓮 | 125 | 16 (57.1%) |
| 467660 | 臺東 | 20 | 25 (73.5%) |
| 467540 | 大武 | 40 | 2 (66.7%) |
| 466930 | 竹子湖 | 73 | 28 (84.8%) |
| 466910 | 鞍部 | 48 | 25 (80.6%) |
| 467650 | 日月潭 | 84 | 43 (55.1%) |
| 467530 | 阿里山 | 30 | 24 (43.6%) |
| 467550 | 玉山 | 7 | 2 (25.0%) |
| 466950 | 彭佳嶼 | 40 | 14 (58.3%) |
| 467990 | 馬祖 | 58 | 25 (62.5%) |
| 467110 | 金門 | 50 | 30 (65.2%) |
| 467350 | 澎湖 | 82 | 32 (62.7%) |
| 467300 | 東吉島 | 35 | 10 (37.0%) |
| 467620 | 蘭嶼 | 5 | 14 (82.4%) |

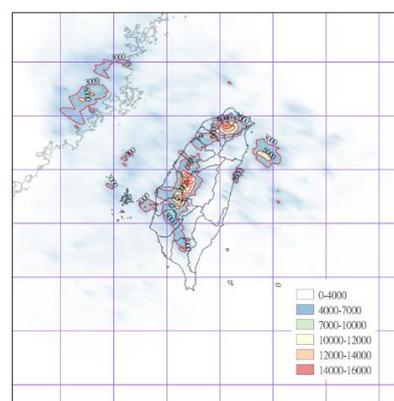
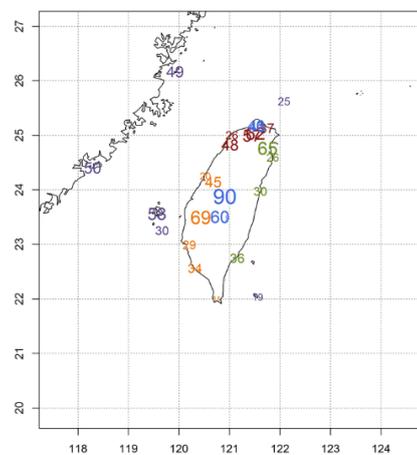


圖6 各測站的雷雨報告(SR)累計次數(上)，TOA系統

測得每 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 網格內的閃電Flash累積次數(下)。

五、結論與未來工作

未來隨著氣象局擴充閃電偵測站，會有更長時間的TOA系統資料累積供應用，由於IC (In-Cloud)閃電在劇烈天氣系統領先訊號可能更為顯著，統計母體也將再納入IC閃電資料。關於雷暴移動方向在SR和TOA的比較，本研究嘗試取SR記錄的雷暴開始、最大降雨及雷暴結束時間之TOA閃電方位，方位為距測站20 km半徑內所有CG平均的360度數轉換為16方位，如表4列舉的5則例子，發現觀測員填報StormPosition格式並不規律，如此與TOA資料比較起來有困難，故將朝以個案形式研究如何從天氣系統角度(如午後、鋒面或颱風對流等)歸類TOA系統中閃電，再計算閃電移動向量。

表4 數則從SR及TOA得到之雷電移動情形。

| stno | 467660 | 466880 | 467530 | 466920 | 467050 |
|---------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Date | 2015/4/4 | 2015/4/19 | 2015/4/21 | 2015/5/9 | 2015/5/20 |
| StormPosition | E-SE | W-S-N-SE-W | W | SW-S | WSW-SSW |
| S-R-E meanDeg | WSW-SSE-SSE | SE-E-SSE | SE-S-SSE | NW-SW-ESE | SW-S-W |

本研究蒐集2015年4月至2016年6月臺灣地面氣象站人工填寫的雷雨報告(SR)與架設在地表的閃電遙測系統(TOA)，初步探究2資料相關性及TOA對傳統人工雷雨觀測提供的綜合應用。各測站初聞雷鳴時TOA閃電最小距離，與傳統經驗20-40 km類似；初聞的雷鳴方向與TOA定位有一定亂度但也有約0.457的相關係數；SR裡雷暴的強弱，有觀測員填報愈強，平均分鐘閃電率愈高的情形，但和平均電流似無關係。

本研究統計區間中，總體SR數目與TOA偵測系統累積Flash數量分布圖有良好的極值對映；從TOA取得距測站20 km半徑範圍內的CG，雷雨報告和遙測系統偵測率的交叉比對，除了部分測站能觀測到超過20 km以外的事件，TOA系統幾乎能完全記錄到SR所觀測到的雷暴日數。TAO分鐘閃電率在臺灣北部有較大的最大值，而SR紀錄的雷暴事件，多數測站都有50%以上是最大閃電率發生時間領先最大降雨時間的情

形。除利用閃電與落雷偵測系統作為極短期天氣預報的指引外，傳統雷雨報告的產製是否能搭配一些自動化的程序有待考量，WMO對於閃電遙測說明文件中提到，閃電資料品質還未有國際定義標準，故希望能從地表人工、儀器到太空閃電觀測的合併探討，察覺更多甚至改進閃電觀測的不足。

參考文獻

- 交通部中央氣象局，2004：地面氣象測報作業規範，第四版，十八章四節，交通部中央氣象局，臺北市，18-9。
- 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。
- 劉明揚，2011：大氣測計學，第二版，三章六節，茂昌圖書有限公司，臺北市，86。
- 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. 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.