

臺灣地區閃電躍升對降雨預警之探討

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

葉明生¹ 陳新淦² 林秉煜² 馮欽賜² 鄭安孺¹ 劉承翰¹
多采科技有限公司¹
交通部中央氣象局²

摘要

過去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，而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。過去對於臺灣地區的閃電躍升及降雨之關係研究，多是採用雨量站降雨資料，配合測站一定範圍內所發生閃電，以測站觀點進行分析。本研究針對2017年氣象局閃電資料與QPESUMS網格雨量估計產品，進一步由測站推展至網格觀點，探討午後對流與鋒面天氣系統之連續時間閃電躍升與降雨量關係及可能領先時間，以期能對臺灣地區豪大雨預報提供指引。分析結果顯示，午後對流與鋒面天氣系統閃電躍升發生後，未來一小時內分別有50%及60% 以上的機率會發生強度大於6mm/10mins之降雨；而對強度6mm/10mins以上的降雨，當閃電躍升發生後，午後對流的平均領先時間約為14分鐘，而鋒面的平均領先時間約為12分鐘，因此建議未來可持續探討閃電躍升與10分鐘累積雨量之關係，期望可作為劇烈天氣可能發生的有用參考指標之一。

中文關鍵字：閃電偵測系統、閃電躍升、降雨

英文關鍵字：lightning detection system, lightning jump, rainfall

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)事件的關係，在國外研究有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，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。近期則有Gatlin (2006)、Schultz et al. (2009)、Gatlin and Goodman (2010)陸續提出客觀和定量的閃電躍升演算法，分別應用於不同劇烈天氣預警。

國內相關研究有洪(2002)利用雲對地閃電(CG)分析臺灣北部山區之午後對流個案與雷達回波的關係。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。林等(2006)以2005年5月12日梅雨鋒面個案，分析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，發現IC的躍升對午後雷暴、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，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，顯示IC躍升對於臺灣對流性降雨有預警應用價值。葉等(2017)使用台電公司與中央氣象局建置的閃電偵測系統所得觀測資料，探討適用臺灣地區閃電躍升演算法與參數。

由於過去對於臺灣地區閃電躍升與降雨關係之相關研究，多數採用測站觀點分析，本研究以2017年全年度氣象局閃電偵測系統閃電偵測資料與QPESUMS網格降雨產品，以網格觀點(解析度為0.05度)，探討午後對流與鋒面天氣系統之連續時間閃電躍升與降雨量關係及可能領先時間。

二、閃電與降雨資料來源與解析

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

本研究採用氣象局閃電資料，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。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。

CWBLDS之閃電資料，以格林威治時間西元年月日時分秒為檔名，檔案內容為記錄時間後30秒內的閃電資料。圖1為2017年07月20日16:00:00至16:00:59之閃電分布。

(二)網格化雨量資料

本研究蒐集QPESUMS劇烈天氣偵測系統逐10分鐘網格時雨量估計產品，目前QPESUMS系統是每10分鐘產出一組網格化時雨量估計資料，因此需要另行計算10分鐘累積雨量。因有每10分鐘一筆的小時累積降雨量，則需要用小時累積降雨量來推算10分鐘降雨量。推算10分鐘累積雨量的步驟如下。假設 p_n 代表某QPESUMS網格第 n 個時間的小時累積雨量，

$$p_n = r_n + r_{n-1} + r_{n-2} + r_{n-3} + r_{n-4} + r_{n-5}$$

其中， r_{n-i} 是代表第 n 個時間前第 i 個10分鐘內的10分鐘累積雨量。舉例說明，假設取時間為00:00開始，以每10分鐘為一個單位，則00:00~01:00間的一小時累積雨量記為 p_6 ，00:01~00:10間10分鐘的累積雨量為 r_1 、00:10~00:20的累積雨量為 r_2 、00:20~00:30的累積雨量為 r_3 、00:30~00:40的累積雨量為 r_4 、00:40~00:50的累積雨量為 r_5 ，且00:50~01:00的累積雨量為 r_6 。取 $n=6$ ，則

$$p_6 = r_6 + r_5 + r_4 + r_3 + r_2 + r_1$$

當 $i=2$ ， $r_{n-i} = r_{6-2} = r_4$ ，代表第 $(6-2) \times 10 = 40$ 分鐘所記錄得的10分鐘累積雨量，亦即00:30~00:40間的累積雨量。同理，第 $n-1$ 個時間的小時累積雨量為

$$p_{n-1} = r_{n-1} + r_{n-2} + r_{n-3} + r_{n-4} + r_{n-5} + r_{n-6}$$

假若 r_{n-1} 至 r_{n-5} 均為已知，則可由下式求得 r_n

$$r_n = p_n - (r_{n-1} + r_{n-2} + r_{n-3} + r_{n-4} + r_{n-5})$$

計算方法首先取資料時間點之前，一小時內都沒有降雨的時間為起始時間，即滿足 $r_{n-1} = r_{n-2} = r_{n-3} = r_{n-4} = r_{n-5} = r_{n-6} = 0$ ，然後從下一個10分鐘起，可應用以上公式計算每10分鐘的累積降雨量，圖2為2017年07月20日16:00至16:10之10分鐘累積雨

量。而缺QPESUMS降雨資料的時間，將以克利金法內插地面測站雨量觀測補遺。

(三)資料集整

首先，分析閃電網格與QPESUMS網格的對應關係，閃電網格之解析度為0.05度，QPESUMS網格解析度為0.0125度，故每一個閃電網格內約涵蓋16個QPESUMS網格。依照前述對應關係，分析各閃電網格逐10分鐘累積降雨量，取16個QPESUMS網格中最大者為代表。

逐閃電網格分析各網格2017年全年度閃電躍升時間序列。分析方法為取網格中心周圍半徑10公里範圍內的氣象局CWBLDS總閃電資料，以Gatlin (2006) 閃電躍升演算法，計算閃電躍升，時間解析度為1分鐘。而圖3為2017年07月20日16:00至16:10之10分鐘累積閃電躍升次數分布。

三、分析方法與結果

本研究以上述之氣象局CWBLDS之逐分鐘總閃電計算各網格之閃電躍升，並配合QPESUMS 10分鐘網格化累積雨量，運用空間分布之網格化閃電躍升及降雨資料，分析二者關係。

(一)連續時間閃電躍升與降雨量相關性研究

本項研究是以預報的角度，來看「連續 n 個閃電躍升發生後，未來一小時內發生超越特定強度降雨的機率」。分析的方法為以網格為單元，當網格有閃電躍升發生時，檢查該網格於閃電躍升發生時刻起的未來60分鐘內，降雨是否有超過某門檻值(假設為 R)，如圖4所示，其中， T_0 為閃電躍升發生時間； T_{60} 為距 T_0 60分鐘後的時間；假設第 i 個10分鐘降雨量為 r_i ，是由 t_{ri}^{st} 累積到 t_{ri}^{ed} ， t_{ri}^{st} 為 r_i 的起始時間， t_{ri}^{ed} 為 r_i 的結束時間，若

$$\exists r_i \geq R \text{ 且 } T_0 < t_{ri}^{ed} \leq T_{60}$$

則紀錄該事件為「是」，否則紀錄為「否」，如此檢查所有的事件後，計算「是」的事件在所有事件中的百分比，得到「閃電躍升發生後，未來一小時內發生等於或大於 R 以上降雨的機率」。下一分鐘如果持續有閃電躍升發生，則依前述相同的過程，得到「連續2個閃電躍升發生後，未來一小時內降雨量 R 之超越機率」。依此類推，可歸納出「連續時間閃電躍升發生後未來一小時內10分鐘累積雨量達不同門檻值之超越機率」。

圖5和圖6所示分別為夏季午後對流以及鋒面事件，取10分鐘累積雨量門檻值分別為1、2、4、6、8、10、12、14mm/10mins，所有網格的超越機率分析結果，圖中，橫軸為連續時間閃電躍升數，午後對流橫軸最多取10、鋒面最多取到7，超過此數目以上由於樣本數不足30筆，因此不做統計。根據統計，約有60%的躍升案例只會有1個閃電躍升，20%案例連

續2個閃電躍升，發生連續3個閃電躍升以上的案例只占約20%。

首先，由圖5和圖6可觀察到對於同樣的連續閃電躍升數，超越機率隨著門檻值的增加而降低。無論午後對流或鋒面，1mm/10mins超越機率均高達85%以上，表示一旦有閃電躍升發生後，幾乎都會伴隨降雨發生。較高的雨量門檻值之超越機率隨著連續閃電躍升數增加而增加，顯示連續閃電躍升確實可以反映對流的活躍現象。線後段有跳動現象是因為連續多個閃電躍升發生的個案少、統計誤差大的緣故。

對於連續閃電躍升數以及同樣的降雨門檻值，鋒面超越機率會大於午後對流，例如，當第1個閃電躍升發生後，鋒面事件6mm/10mins的超越機率將近64%，而午後對流的超越機率則約為50%。

再將分析程序改為以60分鐘的累積雨量為門檻值，統計連續時間閃電躍升後未來兩小時內，發生60分鐘累積雨量分別超過10、20、25、30、40、50、及60mm的超越機率，結果如圖7與圖8所示。其中，紅色線所示為時雨量達40mm/hr以上，即「大雨」發生的機率，圖7午後對流事件中，當觀察到當閃電躍升發生後，未來兩小時內發生大雨的機率將近20%，最高不超過30%。

而在圖8鋒面事件中，當第1個閃電躍升發生後，未來兩小時內發生大雨的機率亦約為20%，但若有連續3個閃電躍升，未來兩小時內發生大雨的機率將超過40%，連續4個閃電躍升發生，則未來兩小時內發生大雨的機率更高達50%，此結果顯示閃電躍升數可作為預測鋒面大雨的參考指標。

(二) 閃電躍升對降雨領先時間分析

本研究以2017年全臺灣所有網格閃電事件進行領先時間(指從閃電躍升發生到降雨結束的時間差，參考圖4示意圖)分析，令領先時間(LT)為

$$LT = t_{ii}^{ed} - T_0 ; r_i \geq R \text{ 且 } \forall j < i ; r_j < R$$

得到午後對流與鋒面10分鐘累積雨量的平均領先時間(平均領先時間為在同樣條件下，對所有被篩選出紀錄為「是」的事件的領先時間取平均的結果)，分析結果分別如圖9和圖10所示。由圖9和圖10可看出，降雨門檻值愈大，但領先時間也愈長，但其發生的機率也愈低。

由於降雨紀錄是每10分鐘一筆，因此如果計算得的領先時間是少於10分鐘，表示降雨幾乎是和閃電躍升同時發生的。分析結果顯示，閃電躍升對4mm/10mins等級的小雨沒有領先時間。

對同樣的降雨門檻值，午後對流閃電躍升對降雨的領先時間較鋒面略長，例如對強度6mm/10mins以上的降雨，當閃電躍升發生後，午後對流的平均領先時間約為14分鐘，而鋒面的平均領先時間只有12分鐘。

如果以時雨量40mm(大雨標準)為門檻，則平均領先時間分析的結果如圖11所示。當1個閃電躍升發生時，無論是午後對流或是鋒面，閃電躍升對大雨的平均領先時間均約為18分鐘。

四、結論與建議

綜合以上分析結果，可初步歸納結論如下：

一旦有閃電躍升發生後，幾乎都會伴隨降雨發生。午後對流閃電躍升發生後，未來一小時內有50%以上的機率會發生強度大於6mm/10mins之降雨，未來兩小時內發生大雨的機率為20~30%；而鋒面閃電躍升發生後，未來一小時內有60%以上的機率會發生強度大於6mm/10mins之降雨。未來兩小時內發生大雨的機率為20~50%。

閃電躍升對降雨平均領先時間最多也只有十多分鐘，因此建議降雨預警應以10分鐘累積雨量為主，但10分鐘累積雨量如何結合防災應用，建議未來可進一步研究。

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、陳新金、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。
- 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.
- 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.

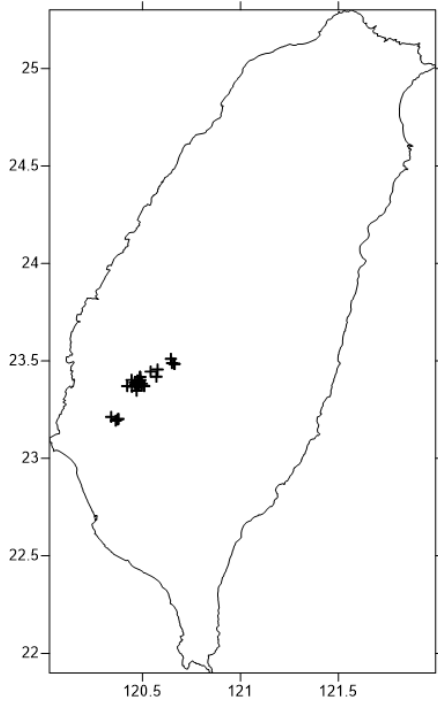


圖1 2017年07月20日16:00:00至16:00:59之閃電分布

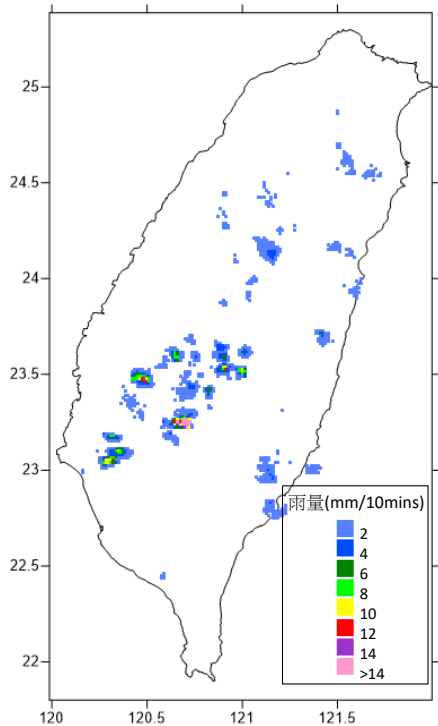


圖2 2017年07月20日16:00至16:10之10分鐘累積雨量

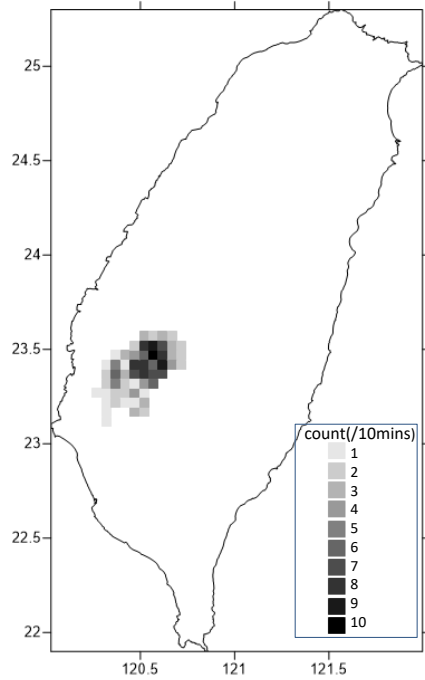


圖3 2017年07月20日16:00至16:10之10分鐘累積閃電躍升次數

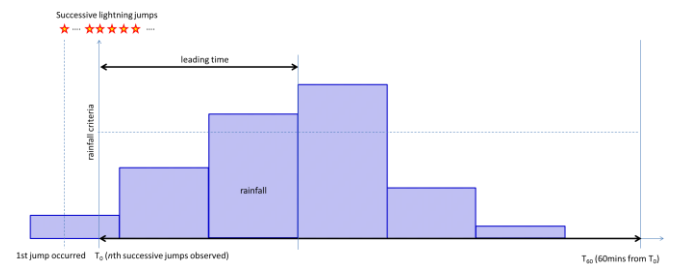


圖4 連續時間閃電躍升對降雨分析示意圖

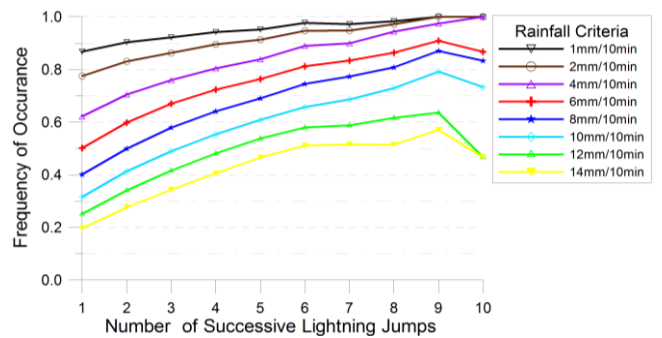


圖5 午後對流事件連續時間閃電躍升發生後未來一小時內10分鐘累積雨量達特定門檻值之超越機率。橫軸為連續時間閃電躍升數；縱軸為機率，不同顏色之線分別為不同連續閃電躍升數對應於不同累積雨量門檻值的超越機率值。

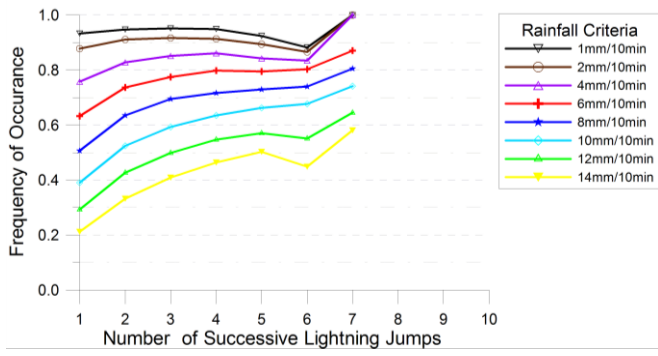


圖 6 鋒面事件連續時間閃電躍升發生後未來一小時內 10 分鐘累積雨量達特定門檻值之超越機率

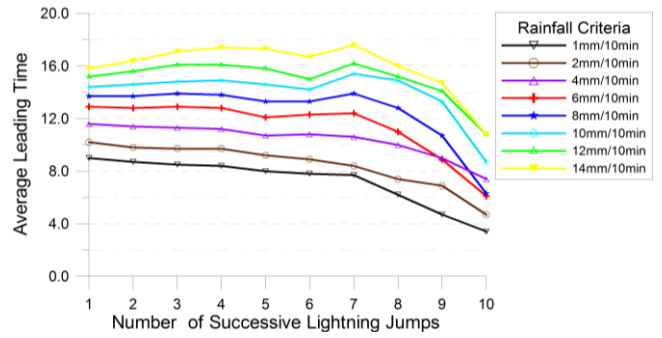


圖 9 午後對流事件閃電躍升對 10 分鐘累積雨量之平均領先時間。橫軸為連續時間閃電躍升數；縱軸為平均領先時間，不同顏色之線分別為不同連續閃電躍升數對應於不同累積雨量門檻值的平均領先時間。

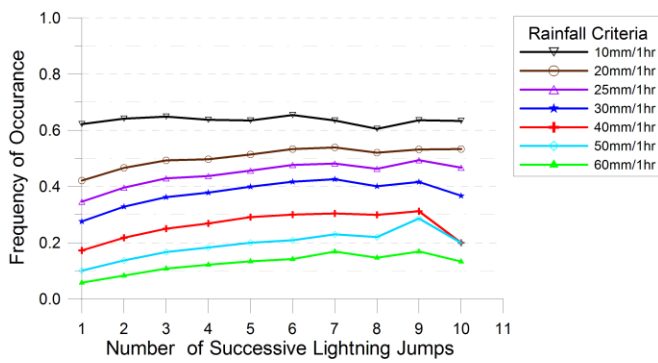


圖 7 午後對流事件連續時間閃電躍升發生後未來兩小時內時雨量達特定門檻值之超越機率

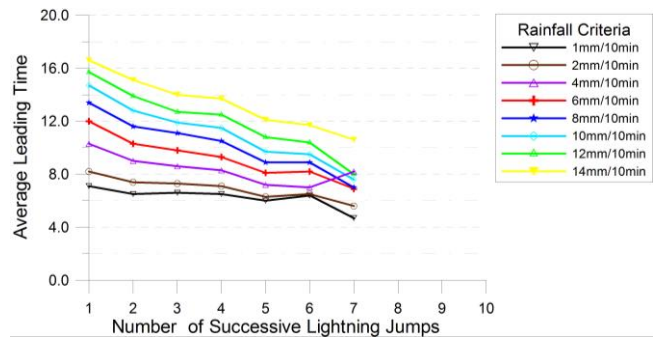


圖 10 鋒面事件閃電躍升對 10 分鐘累積雨量之平均領先時間

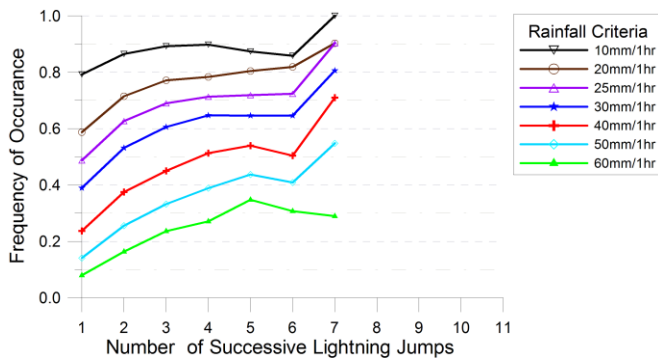


圖 8 鋒面事件連續時間閃電躍升發生後未來兩小時內時雨量達特定門檻值之超越機率

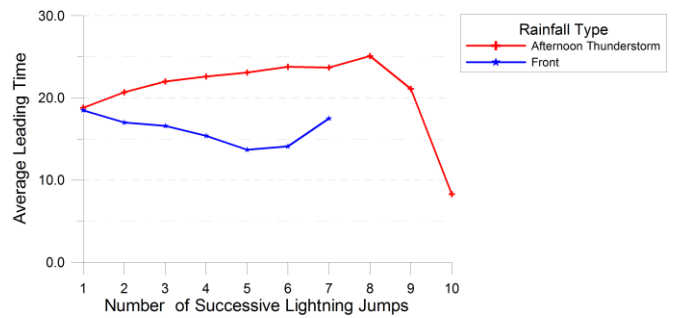


圖 11 閃電躍升對大雨之平均領先時間