

雲中閃電預警對流性降雨初探

戴志輝¹ 王尹懋² 楊明仁^{1,2} 林博雄^{1,2}

¹國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心

²國立臺灣大學大氣科學系

(中華民國一〇六年三月二日收稿；中華民國一〇六年六月十二日定稿)

摘 要

本文使用台電公司全閃電偵測系統(total lightning detection system, TLDS)的雲中(intra-cloud, IC)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 $10 \text{ mm} (10 \text{ min})^{-1}$ 以上雨量為對流性降雨事件之定義，探討 2015 年 5 至 10 月午後時段各區達到 IC 躍升(jump)數量門檻值的閃電活動，與該分析區對流性降雨事件之關聯程度。診斷結果顯示在 5 個 5 分鐘時段 IC 數量的時間滑動平均之下，IC 數量平均值加 2 倍標準差為最佳之 IC jump 門檻；全臺之後符(post agreement)命中率平均值超過 0.61、最大值接近 0.87，顯示 IC jump 對於臺灣對流性降雨有預警應用價值。比對後符與前估(prefigurance)兩種結果顯示臺北盆地與其周圍山區、部分宜蘭縣，及南投與中部縣市交界一帶，適用 IC jump 預警對流性降雨；臺灣西南部應用 IC jump 預警對流性降雨有參考價值，但需進一步了解 IC 定位不確定性的影響及當地對流之雲物理結構特徵。

關鍵字：TLDS、IC jump、對流性降雨、後符、前估

一、前言

全閃電密集分布之處，即反應雷暴發展的位址(Makowski et al. 2013)，因此診斷發展中雷暴之

全閃電（包括各種放電方式的 total lightning）數量的時間變化，可了解雷暴強度演變並即時預警其伴隨冰雹、龍捲風、地面強風等劇烈天氣現象之出現(Schultz et al. 2009; Gatlin and Goodman

2010)；當全閃電數量異常突增，或稱之為閃電次數的躍升 (lightning jump，為閃電次數時間變率達某一門檻) 現象出現，表示雷暴正快速發展；這種突增現象經常領先於地面強風、冰雹及龍捲風等劇烈天氣現象，平均領先時間可達 22 分鐘 (Gatlin and Goodman 2010)。Chronis et al. (2015) 發現透過適當的演算，當雷暴伴隨的閃電數量達到躍升門檻，其持續時間及氣象雷達反演的最大總液態水 (vertical integrated liquid) 量均較未達門檻值的個案更大，因此全閃電時間變化率與對流胞強度演變之間有密切連結，對於短時劇烈天氣預報是非常有用的參考資訊 (Darden et al. 2010)。

雲中 (intra-cloud) 或雲間 (inter-cloud，本文將兩者統稱為 IC) 閃電在雷暴發展初期最為活躍，雲對地 (cloud-to-ground, CG) 閃電則在對流胞的核心高度下降之後才會發生，因此 IC 次數的峰值通常較 CG 更早出現 (Lang and Rutledge 2002)，使得診斷全閃電 (IC 加上 CG) 數量躍升，比起僅診斷 CG 數量躍升，對於劇烈天氣的預警有更高的偵測率與較低的錯誤預警率，進而具有較長時間的預警效果 (Schultz et al. 2011)。Petrova et al. (2014) 指出夏季陸地日間的 CG 閃電發生頻率與衛星反演對流性降雨量，兩者呈現正相關；CG 的時間與空間分布特徵顯示臺灣一年四季皆可能受雷暴影響，但主要集中於暖季 (林 1999)，尤以午後最為明顯 (陳 1994)。

台灣電力公司的全閃電偵測系統 (Total Lightning Detection System, TLDS) 至今已有超過十年的觀測紀錄，相關研究如：2004 年 Mindulle 颱風過後的強西南風環境下，藉由 IC 密度 (每小時每平方公里達 6 次) 可追蹤海洋性風暴的移動，並預測降雨區的動向 (Wang and Liao 2006)；全閃電及雲模式模擬的時間序列比對顯示，當中層軟

雹與高層冰晶的質量百分比同時達最大的 12 分鐘之後，全閃電 (雲中起點、中間點及雲地回擊之和) 達到最大值 (吳等 2009)；隨著太平洋高壓軸線方向與位置的逐月演變，在 5 至 10 月暖季期間，臺灣附近中低層綜觀氣流風向由西南轉為東南，臺灣北部午後 IC 的主要分布位置也隨之由東轉西 (戴等 2008)；而 2004 至 2012 年的資料顯示，九年的 IC 總量約為 CG 的 50 倍，高頻率 IC 與 CG 多分布於暖季陸地 (陳與洪 2015)。以上研究成果，皆顯示 TLDS 資料可被利用於分析診斷臺灣地區雷暴天氣系統。

雖然伴隨雷暴的冰雹、龍捲風、地面強風等劇烈天氣現象，在臺灣發生頻率不高且少被記錄分析，但對於防災 (例如閃洪) 應用而言，這類極短時劇烈天氣預警的需求持續升高 (周等 2016)。戴等 (2015) 透過個案分析，已說明利用 TLDS 全閃電資料 10 分鐘 IC 時間變化率所計算的 IC jump，有助於預警雹暴及伴隨雷暴的強瞬時降雨，且這一特性並不受 TLDS 測站遷移、更新、資料格式改變等的影響。因此本文接續戴等 (2015) 成果，在臺灣高雨量站密度的優勢下，針對 2015 年暖季 (5~10 月) 午後時段 (03:00~12:50 UTC；參考本文第二節)，進一步探討 IC jump 在對流性降雨事件預警的可行性；第二節將敘述使用之資料及分析方法，第三節闡述分析結果，最後第四節則為結論與討論。

二、資料及分析方法

本文分析對流性降雨事件之雨量資料為 2015 年 5~10 月 04:00~12:50 UTC (12:00~20:50 LST) 期間，全臺灣 850 個雨量站 10 分鐘雨量觀測記錄。該段時間缺漏資料為 5 月 11 日 1610 UTC。

TLDS 已於 2012~2013 年進行部分測站遷移及硬體模組性能提升，該系統記錄資料格式捨棄原有的六種形式（戴等 2015），本文所取得的閃電資料僅記錄 IC 及 CG 兩種類型，且不包含閃電之空間定位誤差。就 2015 年 TLDS 資料而言，因可合理代表「一次閃電」（戴等 2015）的資料已不存在，故本文直接分析 TLDS 原始資料。Wang and Liao (2006)認為 TLDS 偵測站 200 公里範圍內，

閃電的定位誤差低於 1 公里，但 2015 年 5~10 月的 IC 分布（圖 1）顯示，功能更新後的 TLDS 於屏東至台東閃電偵測站附近仍存在定位不確定性（戴等 2015）。

（一）對流性降雨事件之定義

基於 IC jump 領先單一雨量站強瞬時降雨可達 40 分鐘（戴等 2015），以及 lightning jump 領

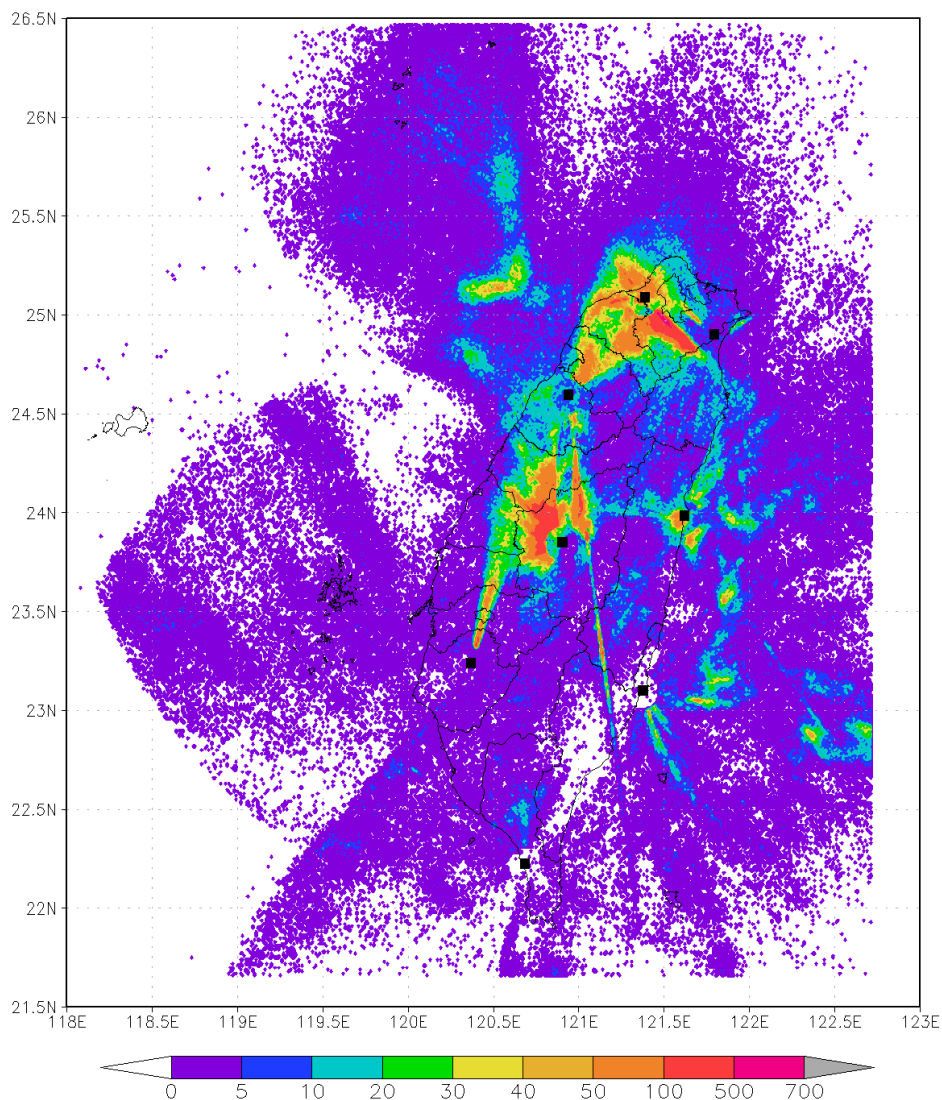


圖 1 2015 年 5~10 月 TLDS 的 IC 分布（色階，單位：數量 km^2 ）。8 個黑色正方形為閃電偵測站位置。

先劇烈天氣現象最多達 37 分鐘(Gatlin and Goodman 2010), 因此本文設定閃電記錄與後續降雨的關聯性時間長度為 1 小時, 應已足夠涵蓋雷暴快速發展階段的閃電活躍期及隨後可能出現的對流性降雨。假設雷暴移動速度為 10 m s^{-1} , 1 小時內可移動 36 km, 且 TLDS 資料具定位不確定性, 因此本文以全臺共 850 個雨量站為中心(圖 2, 灰色點), 各設定一 $72 \times 72 \text{ km}^2$ 的正方形範圍為分析區, 在這些分析區裡都至少包含 1 個雨量站; 只要分析區內任一雨量站 10 分鐘累積雨量大於或等於 10 mm, 即定義該分析區在這 10 分鐘內發生一次對流性降雨事件。例如, 以 C0AG90 (中央氣象局自動測站之中和站) 所在的 24.99°N 、 121.48°E 為中心(圖 2 紅色點)延伸 36 km 的範圍裡(圖 2 紅色框), 在 2015 年 6 月 14 日 06:40~06:50 UTC 的 10 分鐘內總共有 12 站出現 10 mm 以上的 10 分鐘雨量, 對於以 C0AG90 為中心的分析區而言, 2015 年 6 月 14 日 06:50 UTC 就算出現一次對流性降雨事件。再以 C00810 (中央氣象局自動測站之曾文站, 位於 23.22°N 、 120.49°E) 為中心的分析區(圖 2 藍色點與框), 在同一天 06:40~06:50 UTC 期間雖有 1 站出現 2.5 mm 的降雨, 但並無任一雨量站達 10 mm 以上, 因此以 C00810 為中心的分析區而言, 2015 年 6 月 14 日 06:50 UTC 並非對流性降雨事件。

(二) IC jump 定義

分析閃電次數躍升的目的, 是藉由目前與過去時段內閃電頻率增加之趨勢, 以反映雷暴是否處於活躍階段。閃電發生頻率的計算, 與原始紀錄轉換成閃電次數的方法、閃電發生時間頻率的採樣時距、時間變化率平均值的計算方法以及最低啟動次數均有關(Gatlin and Goodman 2010); 若

可凸顯「異常」增加、極大化偵測率(probability of detection; POD)並極小化誤警率(false alarm rate; FAR), 即可成為適用的判斷指標(Gatlin and Goodman 2010)。Schultz et al. (2011)曾建議在原始記錄被明確定義為閃電次數後, 持續每隔兩分鐘計算一次 1 分鐘閃電平均頻率, 當平均頻率於 t_0 達到啟動值時, 回算 $t_{-14} \sim t_0$ 之間的前 7 筆平均頻率以及前 6 筆平均頻率的時間變化率, 再利用前 5 筆時間變化率平均值與 2 倍標準差之和, 做為 lightning jump 門檻值。若第 6 筆時間變化率超過門檻值, 則於 t_0 的閃電頻率視為 lightning jump 發生。

本文在與上一節所述相同之 $72 \times 72 \text{ km}^2$ 正方形範圍分析區內, 以 5 分鐘為累積 IC 數量時間單位, 比如自 t_0 至 t_{10} 之間, 共有 $t_0 \sim t_5$ 、 $t_1 \sim t_6 \dots t_5 \sim t_{10}$ 等 6 個移動時段, 該 6 時段的 IC 數量分別是 $\text{SR}_1 \sim \text{SR}_6$ (SR 表示 source rate); 當其中的 $\text{SR}_1 \sim \text{SR}_5$ 皆不為 0 (此步驟即類似前述之啟動次數), 則進一步計算 $\text{SR}_1 \sim \text{SR}_5$ 的平均值 SR_{mean} 及標準差 σ ; 若 SR_6 大於 $(\text{SR}_{\text{mean}} + \alpha\sigma)$, α 為一可變動值, 則表示 IC 數量在 t_{10} 達到 IC jump 門檻(圖 3)。以此方法僅需耗時 10 分鐘即可判斷是否達到 IC jump 門檻, 相較於戴等(2015)的方法需耗時 30 分鐘, 將更能發揮閃電資料的即時優勢。

以 03:00 UTC 與 12:00 UTC 做為分析 IC 的起、止時間, 可包含大多數暖季午後雷暴的閃電活動。而在前述之對流性降雨與 IC jump 定義下, 最早與最晚可被預警的對流性降雨事件, 將分別發生在 04:00 UTC 與 12:50 UTC, 故本文以 03:00 ~ 12:50 UTC 為午後時段定義, 分析流性降雨事件和 IC jump 之間的前估與後符。

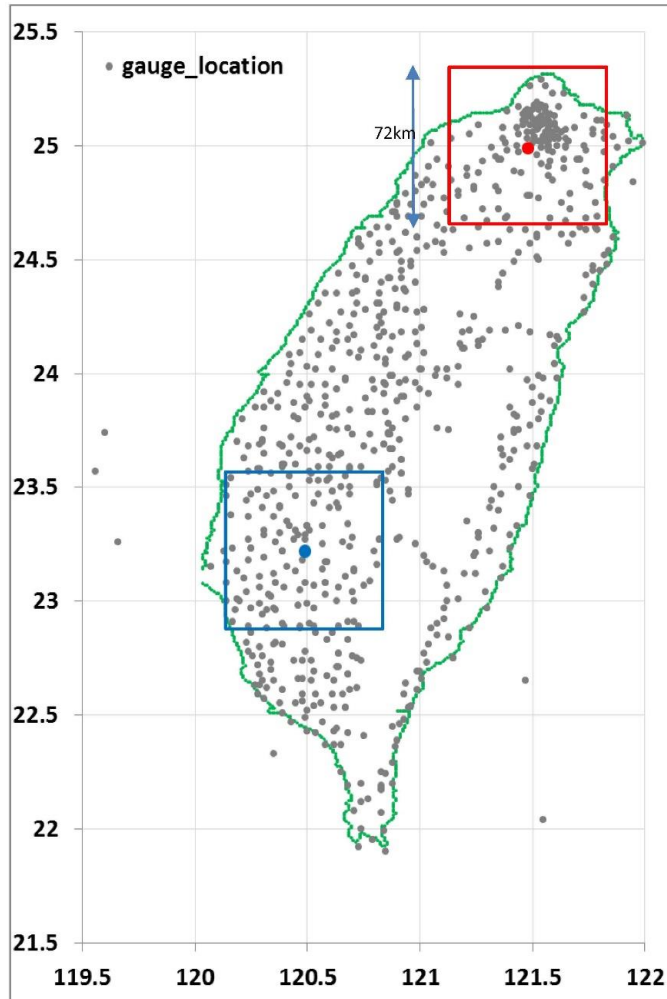


圖 2 全臺雨量站位置 (灰色點)，以及分別以中和自動氣象站 C0AG90 (紅色點) 與曾文自動氣象站 C00810 (藍色點) 為中心的分析區域 (正方形框)。

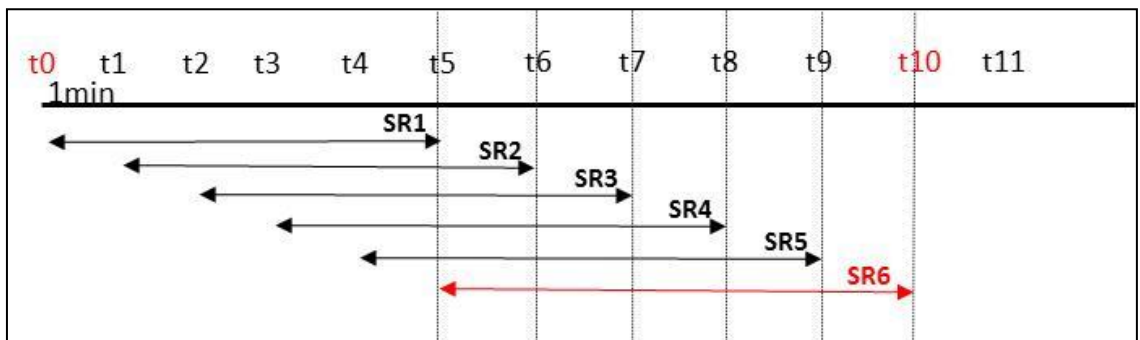


圖 3 本文分析 IC jump 之圖示。 $t_0 \sim t_{10}$ 為判斷 1 次 IC jump 所需的資料時間；包括於 $t_5 \sim t_{10}$ 期間每分鐘計算 5 分鐘 IC 數量 $SR_1 \sim SR_6$ ，於 t_9 計算 1 次 $SR_1 \sim SR_5$ 之平均值 SR_{mean} 與標準差 σ ，以及於 t_{10} 判斷 SR_6 是否大於 $(SR_{mean} + \alpha\sigma)$ 。

(三) 前估與後符之定義

本文所定義的前估(prefigurance)，是在對流性降雨事件已發生的前提下，運用事件前 1 小時內的 IC 數量時間序列，檢驗事件前 50 分鐘內是否存在 IC jump。對一分析區而言，當 t_0 的 10 分鐘雨量達對流性降雨標準，即往前回溯該分析區內自 t_{-60} 至 t_0 間共 1 小時的 IC 記錄。從 t_{-60} 開始，第 1 個可被辨認出的 IC jump 最早會出現在 t_{-50} ，而由 t_{-50} 至 t_0 之間共 51 次可被計算是否達 IC jump 門檻；但因該 51 次皆以「 t_0 出現對流性降雨」為前提，即使這 51 次計算裡達到 IC jump 門檻次數超過 1，也只定義為 1 次前估命中（圖 4a）。

後符(post agreement)是藉由 1 小時的 IC 數量時間序列，檢查 IC jump 出現後 50 分鐘內是否發生對流性降雨事件。對一分析區而言，從 t_{-60} 開始分析 IC 記錄，最早在 t_{-50} 即可達到 IC jump 門檻，此 IC jump 可能是發生於 t_{-50} 、 t_{-40} 、 t_{-30} 、 t_{-20} 、 t_{-10} 及 t_0 等 6 次對流性降雨的指標，但即使在這些時段裡出現對流性降雨的次數高於 1，也只定義為 1 次後符命中（圖 4b）。

三、分析結果

(一) 個案分析

本文首先透過 2015 年 6 月 14 日臺北盆地豪雨型午後雷暴個案(周等 2016)，檢視 IC jump 與對流性降雨之間的關聯程度。在 COAG90 為中心的 $72 \times 72 \text{ km}^2$ 分析區(圖 2 紅色框)裡，06:40~06:50(圖 5 黑色斷線) UTC 期間，40 個有降雨測站之總雨量為 283.5 mm(圖 5 淺綠色柱)，在 12 個有對流性降雨測站(圖 5 灰色柱)中，最大單站雨量為 33 mm(圖 5 綠色柱)，即 06:50 UTC 發生了 1 次對流性降雨事件。依據本文前估定義，應自 05:50 UTC 起開始評估 IC 數量變化，第 1~51 個 SR_6 的時間為 06:00~06:50 UTC(圖 5 紅色線)，若依 Schultz et al. (2011) 建議選取 α 值為 2，這一期間共計 26 次達到 IC jump 門檻(圖 5 紫色點)，亦即發生於 06:50 UTC 的對流性降雨事件，前 50 分鐘內出現了至少 1 次 IC jump，因此視為「前估」命中的個案。而依據本文後符定義，自 05:50 UTC 起開始評估 IC 數量變化，由於 06:00 UTC 出現 IC jump 之後的 50 分鐘內，至少

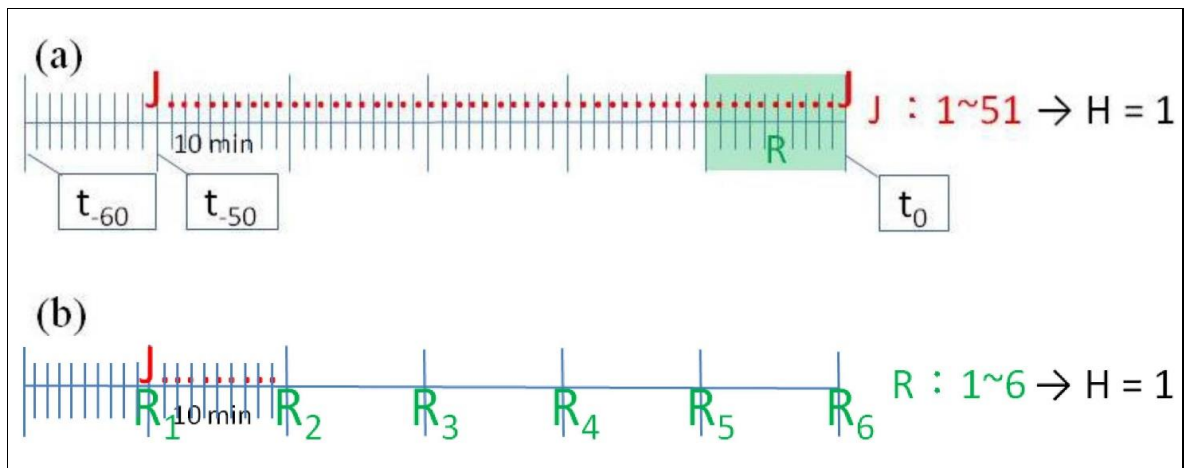


圖 4 圖示(a)前估(b)後符之定義。R 及 J 分別表示 1 次對流性降雨事件及 jump，H 表示前估或後符命中。

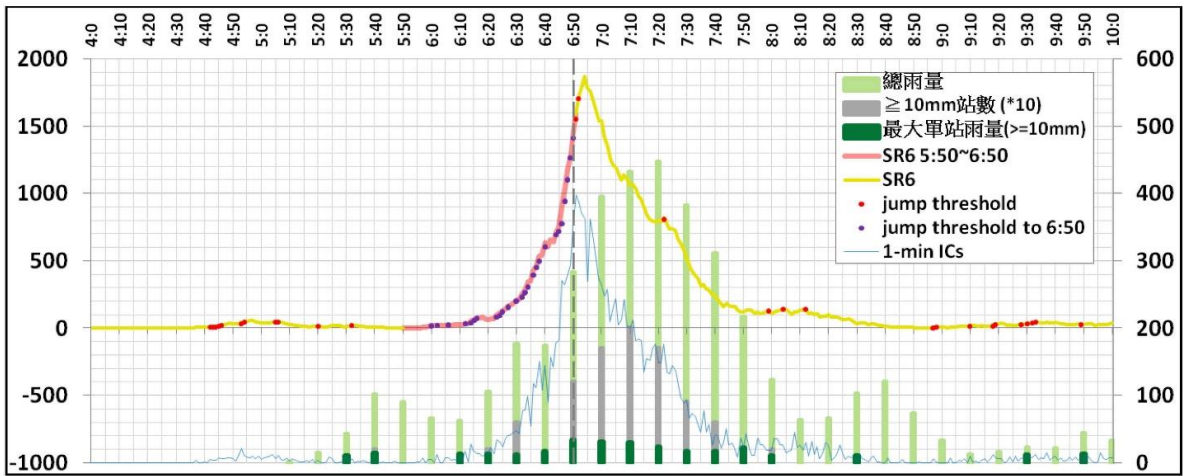


圖 5 2015 年 6 月 14 日 04:00~10:00 UTC (橫軸) 期間, 分析區內 1 分鐘 IC 數量 (藍色線, 右縱軸, 單位: 次數)、SR6 (黃色線, 左縱軸, 單位: 次數; 但 05:50~06:50 UTC 以紅色線標示)、10 分鐘總雨量 (淺綠色, 右縱軸, 單位: mm)、最大單站雨量 (綠色, 右縱軸, 單位: mm)、對流性降雨測站數 (灰色, 右縱軸, 單位: 0.1 次)。紅色點表示達 $\alpha = 2.0$ 之 IC jump 門檻, 紫色點為 06:50 UTC 前 50 分鐘內達 $\alpha = 2.0$ 之 IC jump 門檻。黑色斷線所標註時間為 06:50 UTC。

發生了 1 次對流性降雨事件, 因此視為「後符」命中的個案。

這一個案 1 分鐘 IC 次數 (圖 5 藍色線) 顯示, 於 05:50 UTC 之前以及 06:50 UTC 以後, 因 IC 增加不顯著甚至減少, SR₆ (圖 5 黃色線) 僅在少數時間達到 IC jump 門檻 (圖 5 紅色點), 但與各對流性降雨事件仍然滿足前估與後符的相關性。簡而言之, 本次個案的 IC jump 顯然領先對流性降雨事件。

(二) 前估

圖 6a 顯示, 在 2015 年 5~10 月午後期間, 臺北市區與新北市 (雙北) 地區及自南投至屏東的中央山脈西側, 對流性降雨事件總數明顯較臺灣其他地區為多, 尤其在臺北盆地南側、南投/雲林/嘉義交界, 及臺南/高雄/屏東交界等三個區域, 總數超過 589 次以上, 是本文所定義之對流性降雨事件經常發生的地區。相對地, 花東及恆春半

島等地區, 總數則多半低於 180 次。

分析區內的對流性降雨事件總數, 即前估命中數(hit)加前估未命中數(miss); 計算 IC jump 時所採用的 α 值愈大, 表示 IC jump 的門檻愈高, SR₆ 愈不容易被視為「異常」。以圖 2 紅色框的分析區為例, 當 α 以 0.5 間距由 1 增加到 4, 前估 hit 數漸減少而前估 miss 數漸增多 (圖 7, 由黃色圈向左上移動至黑色圈)。當 $\alpha = 4$ 時 (圖 7 灰色點), 850 個分析區的 hit—miss 分布趨勢線 (圖 7 灰色線) 斜率, 比 $\alpha = 2$ (圖 7 紅色點) 之趨勢線 (圖 7 紅色線) 斜率更大; 換言之, 較高的 IC jump 門檻將導致前估 hit (miss) 減少 (增加)。若依據 Schultz et al. (2011) 研究選取 α 值為 2, 則前估 hit 數以雙北與其鄰近地區及中部最多 (圖 6b), 次數多半高於 267 次以上; 而另一經常發生降雨事件的臺南/高雄/屏東交界處, 前估 hit 數則降低至 267 次以下。因此, 前估在臺灣中部以北表現較佳 (圖 6c), 最高值在臺中、南投近 0.78,

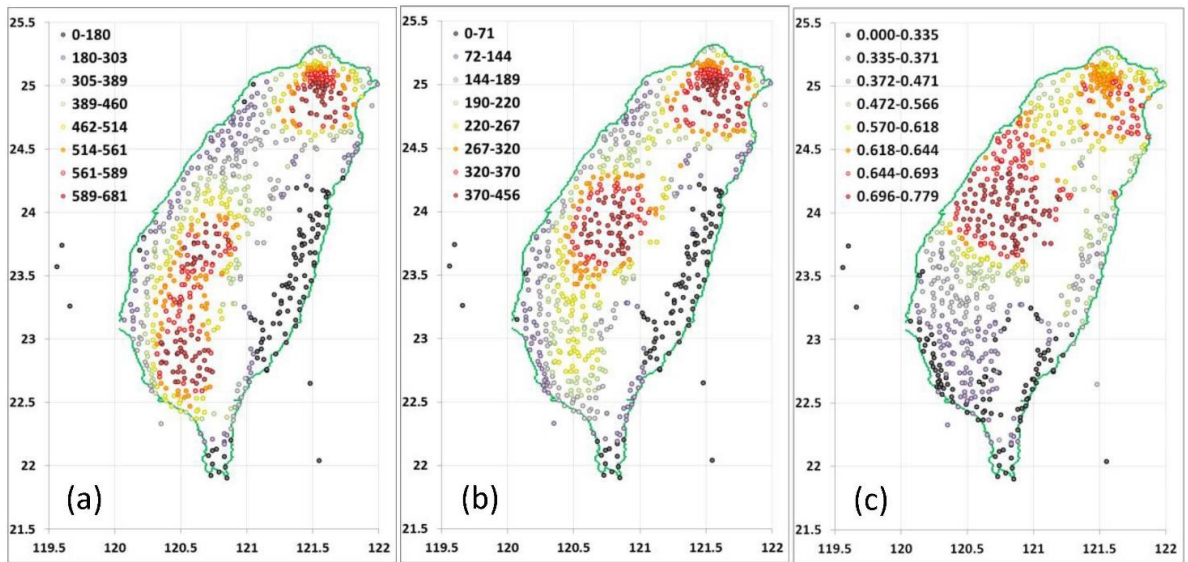


圖 6 各分析區(a)對流性降雨事件數、以 $\alpha = 2$ 為門檻之(b)前估命中數及(c)前估分布。色系由暖至冷代表數值由大至小之排序。

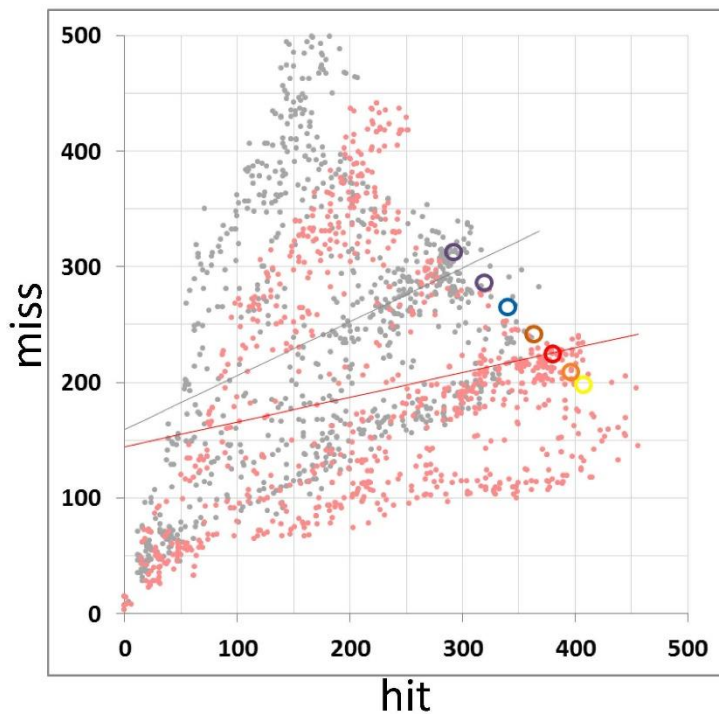


圖 7 850 個分析區的前估 hit (橫軸) 與前估 miss (縱軸) 分布與趨勢線 (紅色為 $\alpha = 2$, 灰色為 $\alpha = 4$), 以及以 COAG90 為中心之分析區, 當 α 以 0.5 為間隔由 1 增至 4 (依序由黃至黑色圈) 的 hit—miss 分布。

而在臺北盆地周圍、新北山區及宜蘭亦達 0.69，全臺 850 個分析區的平均值近 0.53。

(三) 後符

以 $\alpha = 2$ (即 $SR_{mean} + 2.0\sigma$) 為 IC jump 門檻，2015 年 5~10 月午後期間各分析區的 IC jump 個案數如圖 8a 所示。中部與北部的 IC jump 個案數明顯多於其他地區，尤其在南投與中部縣市之交界處，是雷暴經歷快速發展的熱區之一；臺北盆地西南側亦是雷暴經歷快速發展的另一熱區 (圖 8a)。嘉義以南至屏東，雖然對流性降雨事件頻繁 (圖 6a)，但 IC jump 個案數少。另外，花東及恆春半島 IC jump 個案數及對流性降雨事件均少 (圖 8a、5a)，與前估一致。

任一分析區內的 IC jump 個案數，等於後符命中數(hit)加上錯誤預警數(false alarm)，後符 (= 後符 hit / (後符 hit + false alarm)) 相當於 (1 - FAR)，因此，後符較高者即為 FAR 較低者。將

850 個分析區在 $\alpha = 2$ 的後符由高至低依序排列，並與其他 α 值的後符比較 (圖 9)，不論 α 值由 2.0 降至 1.0 或由 2.0 增至 4.0，命中率普遍稍降低 5~10%；這一結果顯示本文的 IC jump 以 2.0σ 作為門檻可獲較高之後符，此與 Schultz et al. (2011) 的結論相同。後符命中數分布 (圖 8b) 與 IC jump 個案數 (圖 8a) 相近，皆在中北部較多，尤其是在南投與中部縣市交界處及臺北盆地西南側，明顯高於其他地區；後符命中數較少的分析區位於臺灣西南部、花東及恆春半島。後符分布 (圖 8c) 顯示雙北地區、部分宜蘭及南投/彰化/臺中交界以南，大多高於 0.65，尤其臺北盆地內、部分臺南/高雄/屏東等縣市，後符更高於 0.71，最佳可達近 0.87；相對地，臺灣西北部沿岸、花蓮至北臺東及恆春半島，後符則為偏低的 0.2~0.4。在全臺 850 個分析區的後符平均值略高於 0.61，最佳後符近 0.87，從預警的角度而言，顯示 IC jump 預警對流性降雨在臺灣部分地區有應用價值。

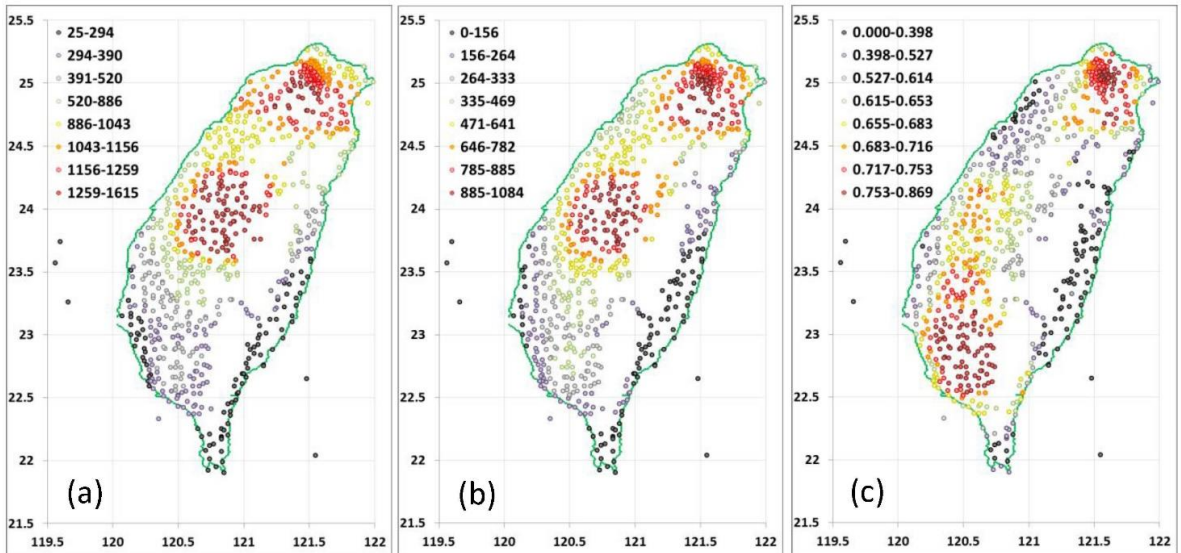


圖 8 各分析區(a)以 $\alpha = 2$ 為門檻之 IC jump 個案數、(b)後符命中數及(c)後符之空間分布。色系由暖至冷代表數值由大至小之排序。

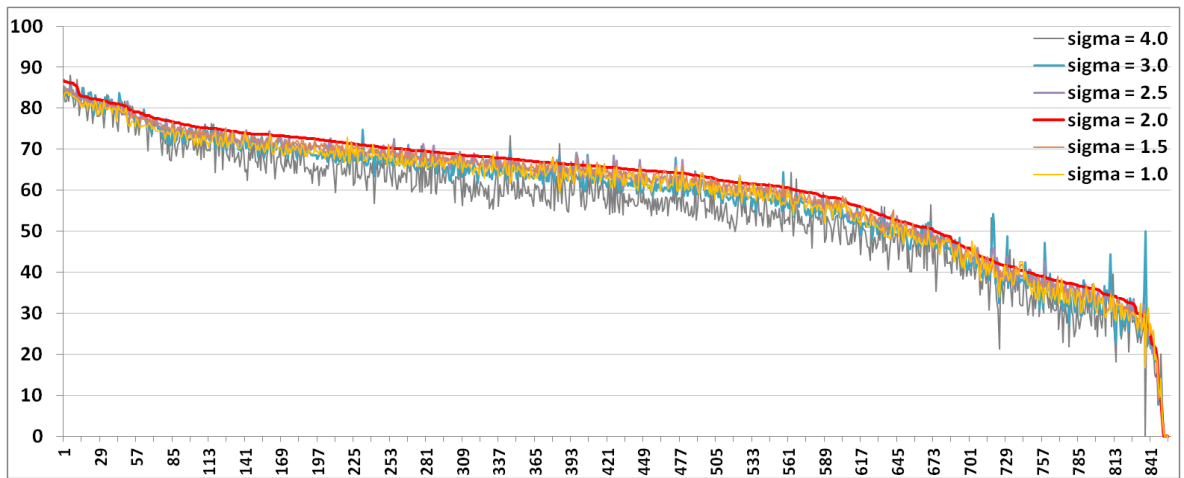


圖 9 以不同 α 值為 IC jump 門檻之各分析區後符 (縱軸, 單位: %); α 為 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 及 4.0 之後符分別為黃、棕、紅、紫、藍及灰色。

此外,高後符與高對流性降雨事件的分析區,多位於雨量站密集區域,故臺灣的高密度雨量站網,可以有較多機會觀測到 IC jump 出現以後的對流性降雨,有利 IC jump 與對流性降雨關聯性的檢驗。即使全臺雨量站密度不同為影響前估與後符可能因素之一,但部份涵蓋低密度雨量站之分析區,其後符與對流性降雨事件數仍有高(如高雄與屏東山區)有低(如新竹或花蓮沿海)。

(四) IC jump 預警對流性降雨適用性

2015 年暖季的 IC jump 分析之前估與後符皆大於平均值者,總共有 309 個分析區(圖 10 紅色點),主要集中於兩個地區:(1)臺北盆地周圍、新北市山區、部分宜蘭及(2)南投與中部縣市交界一帶。這些分析區的前估約介於 0.53~0.78,表示約有 53~78%的對流性降雨事件發生前 50 分鐘內會先出現 IC jump;而後符約介於 0.62~0.79,則表示一旦 IC jump 出現,後續 50 分鐘內發生對流性降雨事件的比率約為 62~79%。故這些地區最適合應用 IC jump 預警對流性降雨。

前估小於平均值且後符大於平均值者,總共有 220 個分析區(圖 10 綠色點),集中於臺灣西南部。在多屬對流性降雨事件頻繁(圖 6a)的 220 個分析區裡,只有 27~52%的對流性降雨事件前 50 分鐘內會先出現 IC jump,但是卻有 62~87%的 IC jump 出現後 50 分鐘內會發生對流性降雨事件;這一結果顯示儘管 IC jump 個案數不多(圖 8a),然而一旦達 IC jump 門檻,後續發生對流性降雨事件的比率可達六成以上,顯示該地區應用 IC jump 預警對流性降雨仍有參考價值。這類現象尤其發生在高屏一帶,對流性降雨前 50 分鐘內會先出現 IC jump 的比率低於 40%,但 IC jump 出現後 50 分鐘內,發生對流性降雨事件的比率達 80%以上。臺灣西南部地區暖季午後發生對流性降雨的頻率高(圖 6a),而對流性降雨發生前的雷暴不具活躍 IC 的可能性低,故西南部低前估的可能原因,應是 IC 定位不確定性(圖 1)所致。因此,分析西南部地區對流的 IC 分布與雲物理結構,以了解 IC 定位不確定性的程度,都是後續應進行的工作。

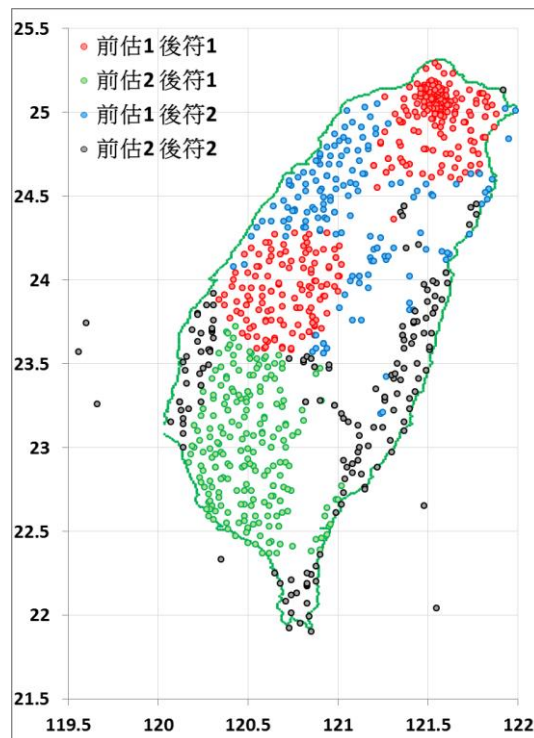


圖 10 IC jump 預警對流性降雨的適用性分布。紅色為適用；綠色為有應用潛力但需進一步了解 IC 定位不確定性的影響及對流的雲物理特徵；藍色需進行個案分析以確定適用性；黑色為應用價值不高。左上角數字 1 (2) 代表大 (小) 於平均值。

前估大於平均值且後符小於平均值者，共計 160 個分析區，多集中於西北部（圖 10 藍色點）。在對流性降雨事件偏少（圖 6a）的臺灣西北部地區，前估為 0.52~0.75，表示對流性降雨事件即使不常出現，仍有 52~75% 的對流性降雨事件前 50 分鐘內會先出現 IC jump，然而後符介於 0.26~0.62。由於臺灣西北部位於雷暴快速發展熱區邊緣（圖 8a），進一步分析顯示，部分涵蓋陸域較廣的分析區（圖 6c）後符高於 0.5，其實並不算太差，仍有機會透過 IC jump 預警對流性降雨事件，但少數涵蓋海域較廣的分析區（圖 6c）則後符較差；上述特性應是雷暴快速發展與對流性降雨的位置，不一定會同時存在於一分析區內所致，但不論是成熟雷暴自他區移入，或是雷暴成熟後移

出分析區，後續可透過個案分析加以釐清。

前估及後符皆小於平均值者，總共有 161 個分析區（圖 10，黑色點），多位於沿海及離島。在這些地區 IC jump 預警對流性降雨的應用價值不高，原因與對流性降雨事件少、非快速發展雷暴的熱區、IC 定位不確定性，或是分析區內雨量站數少均應有關。

四、結論

全閃電時間變化率與對流系統強度演變常有密切相關，因此全閃電數量的即時診斷，對於短時劇烈天氣現象預警而言是非常有用的資訊。IC 數量的峰值通常較 CG 更早出現，因此診斷 IC 比

起診斷 CG 更具預警效果。本文使用台電公司 TLDS 的 IC 資料，針對全臺 850 個以雨量站為中心的 $72 \times 72 \text{ km}^2$ 分析區，採區內至少 1 個雨量站出現 10 mm 以上的 10 分鐘雨量為對流性降雨事件之定義，分析 2015 年暖季午後各區達 IC jump 門檻與隨後 50 分鐘內在同一區裡出現對流性降雨的前估與後符空間分布特徵。

結果顯示：(一) 在雙北與其鄰近地區，以及中央山脈左側自南投至屏東的內陸，為對流性降雨事件熱區，花東縱谷至東海岸以及恆春半島，對流性降雨出現機會相對最少；(二) 在 5 個 5 分鐘時段 IC 數量滑動平均下，以平均值加上 2 倍標準差作為 IC jump 之門檻，可獲得最佳的後符；(三) 後符總平均值略高於 0.61、最大值近 0.87，顯示以 IC jump 預警對流性降雨在臺灣有應用價值。進一步比對前估與後符顯示：(一) 前估與後符均大於平均值的臺北盆地周圍、新北山區、部分宜蘭，及南投與中部縣市交界處，較適合應用 IC jump 預警對流性降雨；(二) 前估小於平均值且後符大於平均值的西南部，應用 IC jump 預警對流性降雨仍有參考價值，但需進一步了解 IC 定位不確定性的影響及發生於該地區對流之雲物理結構特徵；(三) 前估大於平均值且後符小於平均值的西北部，仍有機會應用 IC jump 預警對流性降雨，但須進一步個案分析；(四) 在前估與後符皆小於平均值的沿海及離島，IC jump 預警對流性降雨的應用價值不高。

進一步分析對流天氣系統之雲物理結構特徵，將有助於釐清前估與後符比對後所呈現的地區特性是否肇因於雷暴的差異；對流性降雨強度門檻以及分析區範圍，也有需要因應雷暴發展過程的差異來調整；計算 IC jump 預警對流性降雨事件的領先時間與天氣守視作業流程的資訊傳遞

應用，則是值得持續進行的工作。

誌謝

感謝空軍氣象聯隊提供臺灣電力公司之全閃電資料，以及兩位審查者的寶貴建議；本文在水利署 MOEAWRA1060140 計畫與科技部 MOST 105-2119-M002-026 計畫支持下完成。

參考文獻

- 吳依璇、林博雄及王寶貫，2009：臺灣西南海域總閃電頻率之診斷與模擬。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 林熹閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。*大氣科學*，**27**，75-98。
- 周仲島、高聿正、修榮光、鍾吉俊、李宗融及郭鴻基，2016：臺北都會區豪雨型午後雷暴的觀測特徵與預報挑戰：2015 年 6 月 14 日個案研究。*大氣科學*，**44**，57-82。
- 陳泰然，1994：臺灣地區梅雨季中尺度現象之氣候研究(一)。國科會研究報告 NSC 83-0202-M002-002，112 頁。
- 陳柏榮與洪景山，2015：臺灣電力公司閃電資料特徵分析。*大氣科學*，**43**，285-300。
- 戴志輝、林得恩及賴世運，2008：臺灣北部午後對流閃電與綜觀氣流風向之關係。*大氣科學*，**36**，179-196。
- 戴志輝、王尹懋、王安翔及林博雄，2015：雲中閃電資料應用於雷暴即時預警之研究。*大氣科學*，**43**，115-132。
- Chronis, T., L. D. Carey, C. J. Schultz, E. V. Schultz, K. M. Calhoun, and S. J. Goodman, 2015:

- Exploring lightning jump characteristics. *Wea. Forecasting*, **30**, 23-37. doi:10.1175/WAF-D-14-00064.1.
- Darden, C. B., D. J. Nadler, B. C. Carcione, R. J. Blakeslee, G. T. Stano, and D. E. Buechler, 2010: Utilizing total lightning information to diagnose convective trends. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 167-175. DOI:10.1175/2009BAMS2808.1.
- Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **27**, 3-22. DOI:10.1175/2009JTECHA1286.1.
- Lang, T. J., and S. A. Rutledge, 2002: Relationships between convective storm kinematics, precipitation, and lightning. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2492-2506.
- Makowski, J. A., D. R. MacGorman, M. I. Biggerstaff, and W. H. Beasley, 2013: Total lightning characteristics relative to radar and satellite observations of Oklahoma mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 1593-1611. DOI: 10.1175/MWR-D-11-00268.1.
- Petrova, S., R. Mitzeva, and V. Kotroni, 2014: Summer-time lightning activity and its relation with precipitation diurnal variation over maritime, coastal and continental areas. *Atmos. Res.*, **135-136**, 388-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.015>.
- 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. DOI:10.1175/2009JAMC2237.1.
- , ----, and ----, 2011: Lightning and severe weather: A comparison between total and cloud-to-ground lightning trends. *Wea. Forecasting*, **26**, 744-755, doi:10.1175/WAF-D-10-05026.1.
- Wang, K. Y., and S. A. Liao, 2006: Lightning, radar reflectivity, infrared brightness temperature, and surface rainfall during the 2-4 July 2004 severe convective system over Taiwan area. *J. Geophys. Res.*, **111**, D05206, DOI:10.1029/2005JD006411.

The Preliminary Study of Applying Intra-Cloud Lightning Data to Convective rainfall Nowcasting

Jyh-Huei Tai¹ Mark Yin-Mao Wang² Ming-Jen Yang^{1,2} Po-Hsiung Lin^{1,2}

¹Center for Atmospheric Resource and Disaster Studies, National Taiwan University

²Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

(manuscript received 2 March 2017 ; in final form 12 June 2017)

ABSTRACT

Based on the inter- and intra-cloud (IC) lightning data of Taipower's total lightning detection system (TLDS), this study analyzed the relationship between the lightning activity reaching the IC jump activation and the occurrence of convective rainfall event during 04:00~12:50 UTC from May to October 2015. Total 850 analysis areas, covering $72 \times 72 \text{ km}^2$, are centered on raingauge stations. The convective rainfall event in each analysis area is defined as the presence of at least one station with rainfall amount greater and equal to 10 mm $(10 \text{ min})^{-1}$. By a five 5-min intervals moving average, the results show that (1) the average IC number plus two times the standard deviation is the best option for IC jump calculation in this study; (2) the mean and maximum post-agreement are about 0.61 and 0.87, respectively, indicating that IC jump can be applied to nowcast convective rainfall in Taiwan. The results of comparing the prefigurance to the post-agreement also suggest that (1) it is well suited to apply the IC jump to the convective rainfall nowcasting in the vicinity of the Taipei Basin and its surrounding mountainous area, part of Yilan County, and the border of Nantou and central counties; (2) the application of IC jump to convective rainfall nowcasting is of great potential in the southwestern Taiwan, but it is necessary for further investigations on the cloud microphysical properties and the IC position uncertainty.

Key Words: TLDS, IC jump, Convection rainfall, Prefigurance, Post-agreement.

doi: 10.3966/025400022017034501003