

短時強降雨即時預警系統的研發

廖信豪 林忠義 于宜強
氣象組

國家災害防救科技中心

摘要

本文利用中央氣象局提供之閃電資料及全臺十座氣象雷達的回波資料，進行強降雨即時預警技術的研究。分析 2019 年 5 場強降雨事件中閃電與雷達回波的關係，結果顯示雲內閃電發生的時間及頻率皆領先雲地閃電。當對流系統趨於成熟時，雲內閃電會先有閃電躍升(Lightning Jump)的現象發生，10 至 20 分鐘後，雲地閃電才快速增加，而地面強降雨事件，則在閃電躍升發生後 20 至 30 分鐘可被觀測到。

根據防災預警的需求，定義回波值 40dBZ 為強降雨警戒門檻，結合閃電密度的變化，設定 4 種強降雨警戒標準。透過實際強降雨事件的測試結果顯示(1)警戒範圍與強降雨發生的位置一致、(2)回波值與閃電密度的相關性可達 0.7 以上。當警戒程度越危險，觀測的雨量也越大，警戒值隨時間的變化與雨量變化的趨勢非常相似，此結果說明可以利用閃電與雷達資料開發強降雨防災的預警工具。

關鍵字：閃電躍升、雷達回波、短時強降雨預警系統

一、研發動機

短延時強降雨造成的災害在近年越來越頻仍，2018 年 9 月 8 日傍晚，台北盆地內生成的對流胞，受鋒面通過影響被加強，為北北基地區帶來劇烈降雨，多處地方有積淹水災情傳出(黃等人，2019)；2019 年 7 月 19 日在高雄外海因為山區對流系統的下衝氣流與海上西南風的輻合作用產生強的線狀對流，當對流系統移入陸地後，為高屏地區帶來短延時極端降雨，造成南臺灣有 3 百多處地方傳出淹水災情(黃等人，2020)。這些劇烈降雨事件皆伴隨閃電及強回波的出現。但目前閃電與回波資訊，多應用在發布大雷雨訊息提醒，無法達到防災預警需求。

前人研究顯示(Williams et al, 1999)，強降雨系統常伴隨有閃電的發生，並且隨著降雨系統的增強閃電頻率跟著增加。當強降雨系統趨於成熟，閃電頻率會有急遽增加的現象，稱為閃電躍升(lightning jump)。閃電躍升通常會領先於地面觀測到的劇烈天氣現象 5 至 20 分鐘(Schultz et al., 2009；Gatlin and Goodman, 2010；戴等 2015)。當閃電頻率開始

減少，表示強對流降雨系統開始減弱(Makowski et al., 2013)。因此，閃電頻率的變化可作為強降雨監測的參考指標。

雷達為遙測的工具之一，高時空解析度的觀測資料特性，對於降雨系統的位置、強度變化及降雨過程，能提供很完善的監測資訊。過去許多學者從雷達資料與閃電關係的研究中(洪, 2002；Lang et al., 2000；Shafer et al., 2000)發現，系統中閃電的分布與強回波的位置一致，表示閃電頻率的變化與降雨系統發展強度有密切的關係。

因此，將參考前人研究成果，嘗試利用全臺 10 顆氣象雷達的觀測資料(資料來源：中央氣象局、民航局、空軍)及閃電資料(資料來源：中央氣象局與台電)，進行雷達與閃電強降雨即時預警技術的開發，建構可提供防災操作的預警技術。

二、雷達資料與閃電資料分析

2019 年 4 月 19 日凌晨 0 時至 7 時(18 日 1600UTC 至 2300UTC)期間，在臺灣海峽上有一弓

狀回波(bow echo)，移入南部陸地後形成颶線系統(squall line)，造成南部地區發生短時強降雨(王安翔、林忠義，2019)。此強降雨事件伴隨閃電及強回波的出現，將經過品質管理後的防災降雨雷達回波資料(Quality Control, QC，包含非氣象資料的濾除及回波的衰減修正等)，與雲內、雲地閃電資料發生位置進行比對。當降雨系統在海上時(圖 1a)，雲內閃電多發生在強回波移動方向的前方，隨著降雨系統往陸地方向前進，閃電位置也朝陸地方向移動。約莫在 1900UTC 降雨系統接近台灣南部沿岸(圖 1b)，此時回波強度持續增強，同時在南部沿海的閃電頻率也明顯增加，即為閃電躍升現象。在 20 至 30 分鐘以後，強回波區移至臺灣陸地，閃電躍升區域的地面雨量站也開始測得強降雨的發生(圖 1c)，閃電躍升後地面即可測得強降雨的發生，與前人研究結果一致(Schultz et al., 2009)。當降雨系統移動至陸地以後(圖 1d)，雲內閃電發生的位置，則轉換至強回波區的后緣或附近區域。

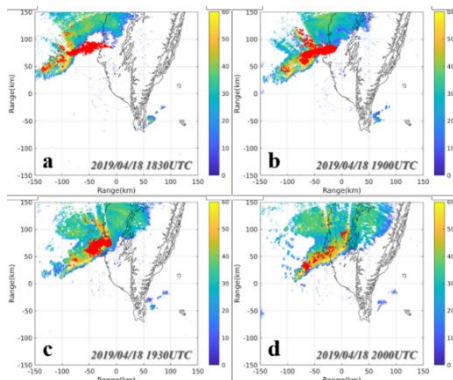


圖 1：2019 年 4 月 18 日 1830 至 2000UTC，雲內閃電與回波分布圖。

雲地閃電的發生多伴隨有強回波。降雨系統在海上時(圖 2a、c)，雲地閃電的訊號多分布在強回波區裡，且隨著降雨系統的增強閃電頻率跟著增加，同樣也有閃電躍升的現象。當降雨系統移至陸地後(圖 2d)，雲地閃電則多分布在強回波區后緣，頻率隨著降雨系統的變化而有增減。

從雲內閃電及雲地閃電發生的情形來看(圖 1、2)，雲內閃電發生的頻率明顯高於雲地閃電，並且領先於雲地閃電的出現。當降雨系統趨於成熟時，雲內閃電會先有閃電躍升的現象出現，大約經過 10 至

20 分鐘，雲地閃電才有快速增加的趨勢，與前人研究結果一致(Lang and Rutledge, 2002)。

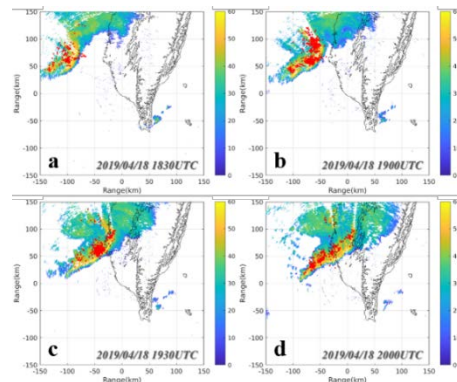


圖 2：2019 年 4 月 18 日 1830 至 2000UTC，雲地閃電與回波分布圖。

分析雲地/雲內閃電與回波大小的關係，試圖找出閃電發生時，相對的回波值。由海上及陸上階段來看，當降雨系統位在海上時(圖 3)，閃電和不同仰角的回波值兩者變異性較大。並且雲地閃電相對的平均回波值，大約比雲內閃電高 5dBZ 以上。因為在海上階段，雲內閃電的分布是在強回波區前方，但雲地閃電則是分布在強回波區裡，所以相對的回波值才會有如此大的差異。當閃電發生時，平均回波值大小約在 40dBZ。

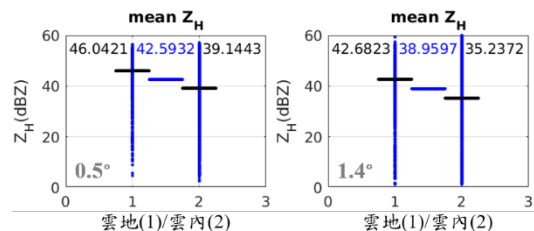


圖 3：海上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係。

到了陸上階段(圖 4)，從分析中發現，最低三層仰角的回波值和閃電資料的統計結果一致性較高。當雲地/雲內閃電發生時，兩者相對的平均回波值之間並無明顯差異，平均回波值約為 42dBZ。

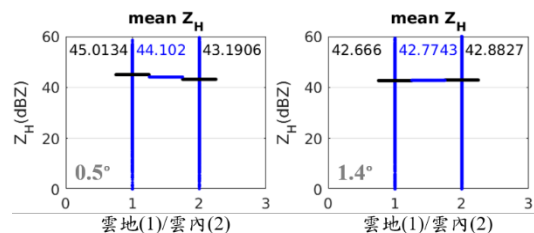


圖 4：陸上時期雲地(1)/雲內(2)閃電與不同仰角回波值的關係。

根據上述結果，將以「40dBZ」作為回波門檻值的設定，進行回波與閃電即時預警系統的個案測試。

三、 個案測試

挑選 2019 年 4 月 18 日的降雨事件，利用品質管理後的林園防災降雨雷達回波資料及閃電資料，進行強降雨預警系統的個案測試。以雷達位置為中心，選取測試範圍 X 方向 100km、Y 方向 150km，每 10*10km² 作一個小區域(圖 5)，計算這小區域裡的平均回波值、回波值大於 40dBZ 的資料百分比及閃電密度(分雲內及雲地，圖 6)。

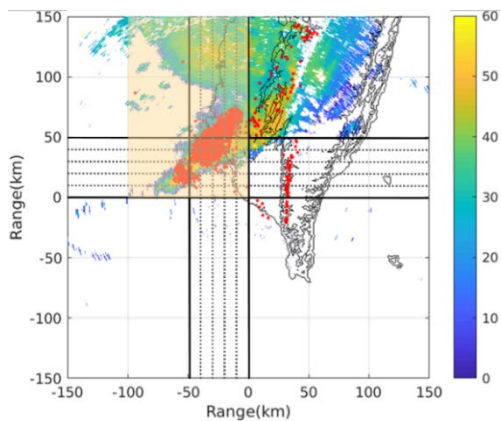


圖 5：選取範圍示意圖。淡黃色區域為選取的測試範圍，黑色小方格為 10*10km² 的計算區域。

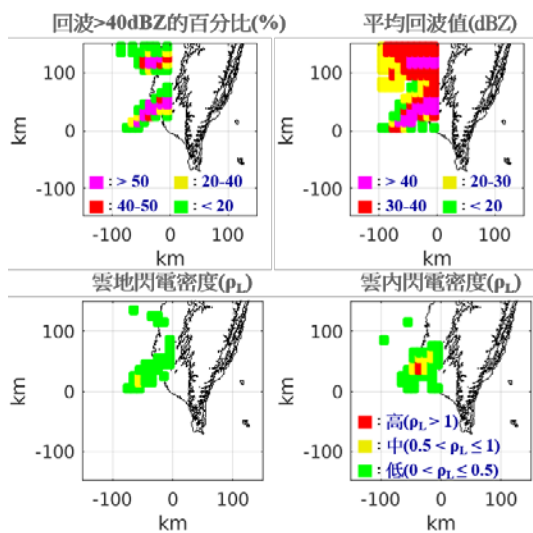


圖 6：區域裡的回波值大於 40dBZ 的資料百分比、平均回波值及閃電密度(分雲內及雲地)的計算結果示意圖。

利用閃電密度配合回波門檻值 40dBZ，設定 4 個程度的強降雨警戒標準(表 1)，把小區域的計算結

果，利用此條件進行警戒程度的判斷。從研判結果(圖 7b)可見，在台南地區研判為危險警戒的區域與累積雨量(圖 7a)的降雨極值位置一致。此外計算閃電密度與平均回波閃電隨時間變化的相關性(圖 8)，在隨時間的變化上，雲內/雲地閃電密度與回波值之間的相關性皆可達 0.7 以上。

表 1：雷達/閃電 強降雨監測指標說明。

警戒程度	代表顏色	判斷條件
危險警戒	●	回波 ≥ 40 dBZ 閃電密度高
高度警戒	●	回波 ≥ 40 dBZ 閃電密度中
中度警戒	●	回波 ≥ 40 dBZ 閃電密度低
低度警戒	●	回波 ≥ 40 dBZ 無閃電

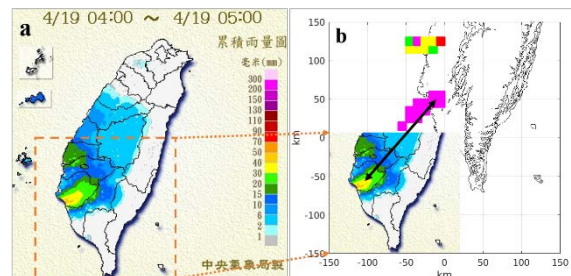


圖 7：中央氣象局累積雨量圖與強降雨警戒判斷結果的比較。

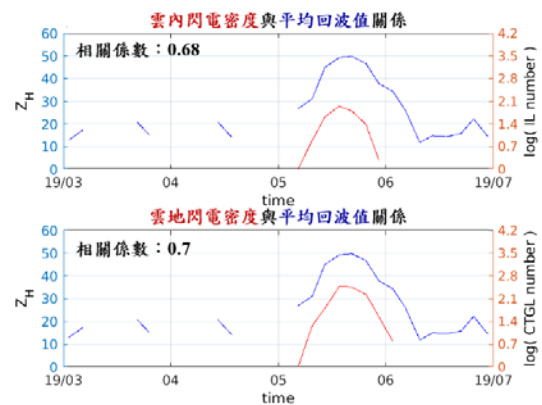


圖 8：雲內/雲地閃電隨時間變化與回波隨時間變化之間的關係。左側縱座標：回波值(dBZ)、右側縱座標：閃電密度(個數/km²)；藍線：平均回波值、紅線：閃電密度。

根據初步分析結果，(1)警戒區域與強降雨範圍一致、(2)閃電密度與回波值隨時間變化的相關性可達 0.7 以上。顯示可以利用閃電及雷達資料研發強降雨即時預警工具。

四、 雨量校驗分析

挑選 2018 至 2019 年於北部地區有造成災害的 4 個強降雨事件(表 2)，利用分布在北部的地面雨量站資料，進行警戒值判斷的校驗。採用新北市午後雷陣雨監測的雨量標準，10 分鐘累積雨量達 10 mm 以上，作為校驗分析的雨量門檻值。在校驗時，部份 10x10 公里的網格內，會有好幾個雨量站的觀測，因為本文的重點是強降雨事件，所以挑選網格內觀測的最大雨量作為該網格的雨量代表，與研判的警戒值做比較。警戒值與雨量的校驗結果顯示(表 3)，當警戒值越危險，觀測雨量越大，隨著警戒值的降低，觀測雨量也隨之減少。但警戒值 3 與 4 的雨量並無明顯差異，表示在無閃電及閃電密度低的情形下，此時降雨系統都還是處於發展階段，雨量不會有太大的差異。當閃電密度增加，此時的降雨系統逐漸趨於成熟，雨量就會有明顯增加現象。

表 2：雨量校驗分析使用的 4 個降雨事件。

個案時間	個案類型
2018年09月08日	鋒面
2019年05月20日	梅雨鋒面
2019年07月02日	低壓帶
2019年07月22日	午後對流

表 3：警戒值與雨量值(mm/10min)及雨量大於 10mm 的資料個數(%)的分析結果。

分析標準	危險 → 輕度			
	警戒值 1	警戒值 2	警戒值 3	警戒值 4
雨量值(mm/10min)	11.51	9.92	6.32	6.88
雨量大於10mm的資料量 (%)	33	39	20	27

雨量大於 10mm 的資料量(%),是指在該警戒值下，計算雨量大於 10mm 的資料個數在總降雨個數中所佔的百分比。從警戒值 1、2 的結果可見，在警戒值 2 的情境下，雨量大於 10mm 的資料量是最多的，但雨量值卻是警戒值 1 的情境最大。表示在警戒值 1 的情境下，降雨系統已達成成熟期，系統不再

發展，雨量多由量值較大的降雨組成，雨勢又大又急。而警戒值 2 情境下的降雨系統，則是處在持續發展中的成熟期，雨量則由個數多、但值偏小的降雨組成。

雨量的校驗分析結果顯示，警戒值與雨量之間有良好的關係，並且可以由警戒的程度，判斷降雨系統的成長階段。

實際作業上，將使用即時的閃電觀測資料，配合每 10 分鐘更新的全臺 10 座雷達的回波資料(經過品質管理後)，進行警戒值的判斷。並將判斷結果，與全臺 368 個鄉鎮的鄉鎮界資訊進行匹配，得到各鄉鎮的強降雨警戒指標。透過本研究結果建置一套閃電及回波的強降雨預警系統，在今年度 5 月 16 日的強降雨個案中，雷達閃電強降雨即時預警結果與強回波及閃電發生位置一致，並且和小時累積雨量最大的區域吻合(圖 9)，此結果可作為日後防災操作上的參考資訊。

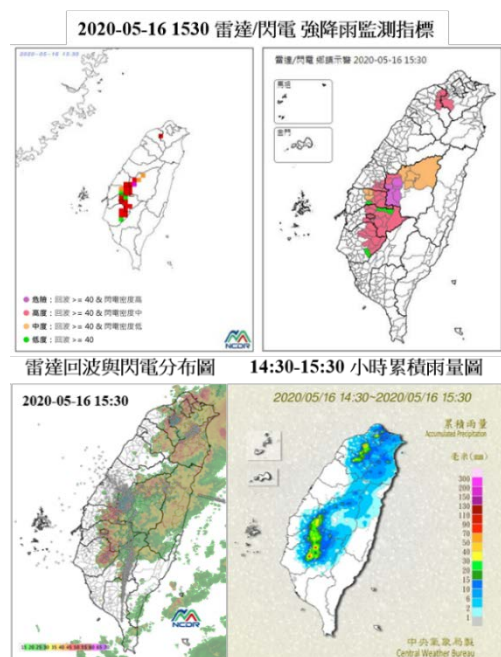


圖 9：2020 年 5 月 16 日 15:30 的雷達閃電強降雨即時預警結果、雷達回波與閃電分布圖及小時累積雨量圖。

五、 結論

強回波及高頻率的閃電是強降雨發生的指標之一。雷達為氣象遙測的工具，可以提供高時空解析度的觀測資料，對於降雨系統的位置、強度及降雨

過程，能提供完善的監測資訊。而閃電資料具有高時間解析度及在空間分布上不受地形的影響的優點。因此若能結合此兩種資料的優勢，將可提升對強降雨的預警及掌握程度，在災害預警上可給予很大的幫助。

從資料的分析中得到回波門檻值 40dBZ，配合閃電發生的密度，設定了 4 個強降雨監測指標。從個案測試結果中得知，(1)強降雨警戒範圍與降雨極值發生的位置一致、(2)雲內/雲地閃電密度及回波值隨時間變化的相關性可達 0.7 以上，相關性高。利用地面雨量站資料進行校驗時，當警戒值越危險，觀測雨量越大，並且隨著警戒值的變化，觀測雨量也會有所增減，顯示警戒值與雨量彼此間有良好的關係。因此利用回波與閃電進行強降雨警戒判斷可作為防災操作上的參考資訊。

未來臺灣的氣象雷達觀測網將會逐步升級成雙偏極化雷達，防災降雨雷達也會陸續建置完成，將能提供完整的全臺偏極化雷達觀測資訊。偏極化參數 KDP 與閃電密度的相關性比較顯示，KDP 與雲內或雲地閃電之間的相關性約可在 0.75 以上(圖 10)，優於回波的結果。因此，未來將增加偏極化參數作為判斷條件，對於提升強降雨警戒值判斷的精確度，能提供很大的幫助。

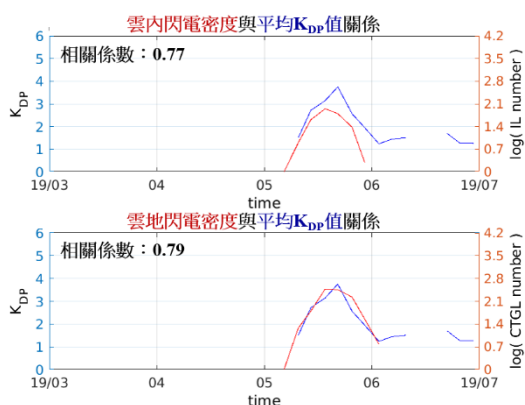


圖 10：雲內/雲地閃電隨時間變化與 KDP 隨時間變化之間的關係。

六、 參考文獻

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。

黃紹欽、朱容練、陳淡容、于宜強、吳宜昭、吳佳純，2019：“2018 臺灣極端天氣事件回顧與分析”。國家災害防救科技中心，新北市。86 頁。

黃紹欽、黃柏誠、王安翔、吳宜昭、于宜強，2020：“2019 臺灣極端天氣事件回顧與分析”。國家災害防救科技中心，新北市。84 頁。

Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: “A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms”. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 27, 3-22.

Lang, T. J., S. A. Rutledge, J. E. Dye, M. Venticinque, P. Laroche, and E. Defer, 2000: “Anomalously low negative cloud-to-ground lightning flash rates in intense convective storms observed during STERAO-A”. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 160–173.

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

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.

Shafer, M. A., D. R. MacGorman, and F. H. Carr, 2000: “Cloud-to-ground lightning throughout the lifetime of a severe storm system in Oklahoma”. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1798–1816.

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

Research and development of real-time Short-term heavy rainfall warning system

Liao, Hsin-Hao, Lin, Chung-Yi, Yu, Yi-Chiang

Meteorology Division

National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

This research uses the lightning data from Center Weather Bureau and 10 weather radar data in Taiwan to develop a real-time heavy rainfall warning system. The lightning and reflectivity analysis data shows that the happening and frequency of Intra-Cloud lightning are all ahead of Cloud to Ground lightning. When the convection system becomes mature, there are lightning jumps in Intra-Cloud lightning. After 10-20 minutes the Cloud to Ground lightning starts to grow rapidly.

According to needs of disaster and warning, we define the reflectivity threshold as 40 dBZ coupled with lightning density to determine four strong rainfall warning indexes. In the heavy rainfall event, the results show that (1) warning area is consistent with maximum rainfall area, (2) the correlation coefficient between lightning density and reflectivity could be more than 0.7. When the alert level is more dangerous, the observed rainfall is going to be higher. The variation of warning value is similar to the tendency of observation rainfall. This study can provide valuable information for disaster prevention and reduction in operational use.

Key word: Lightning Jump, Radar Reflectivity, Short-term Heavy Rainfall Warning System